



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento

Área de Conocimiento

TRABAJO FIN DE GRADO

Dispositivo Automatizado de Dispensación Medicada para Mascotas (DADMM)

Grado en

Ingeniería Mecánica

Autor: Emilio José García Gutiérrez

Tutor: Sergio Martín Béjar

MÁLAGA, Julio de 2025



Agradecimientos:

Quiero agradecer de corazón a mis padres y a mi familia por su apoyo incondicional durante todo este camino. Hago una mención especial a mis padres, que han sido un pilar fundamental durante toda esta etapa universitaria. Sin su ánimo, su confianza en mí y su cariño constante, esto no habría sido posible. También quiero dar las gracias a mi profesor del TFG por su dedicación, por orientarme con paciencia y por estar disponible siempre que lo necesité. Este trabajo también es gracias a ustedes; sin vosotros, nada de esto habría sido posible.



Resumen:

El presente Trabajo de Fin de Grado aborda el diseño, desarrollo y validación de un dispensador automático rotativo de croquetas medicadas para perros u otras mascotas, con el objetivo de asegurar la administración diaria y puntual de tratamientos veterinarios en ausencia del cuidador. Este trabajo surge como respuesta a una necesidad real entre propietarios de mascotas que enfrentan dificultades para cumplir rigurosamente con la administración de medicamentos, especialmente en enfermedades crónicas como la leishmaniasis, cuya efectividad depende de una dosificación precisa y continua.

El sistema mecánico se basa en una estructura cilíndrica dividida internamente en ocho compartimentos por aspas giratorias cada 45°, de los cuales uno permanece vacío para permitir la dispensación. La rotación controlada se ejecuta mediante un motor paso a paso 28BYJ-48, gobernado por un microcontrolador Arduino Nano programado para accionar un giro cada 24 horas utilizando la función millis, lo que permite la temporización sin necesidad de componentes adicionales como un reloj de tiempo real. El dispensador está optimizado para ser fabricado mediante impresión 3D en material ABS y PLA, seleccionado por su biocompatibilidad, facilidad de producción, y adecuadas propiedades mecánicas para aplicaciones de uso doméstico.

Además, se diseñó un compartimento trasero independiente para albergar los componentes electrónicos, protegido mediante una tapa que garantiza estanqueidad frente a humedad o polvo, y una tapa frontal desmontable que permite la recarga de las croquetas sin desmontar el dispositivo sellada con una junta tórica. El conjunto puede ser fijado a la pared mediante taladros en un chaflán trasero, permitiendo su instalación segura en distintas ubicaciones. La validación funcional se llevó a cabo a través de simulaciones en la plataforma Tinkercad, donde se comprobó el correcto comportamiento del sistema de control, así como el ciclo completo de dispensación y reinicio.

Este prototipo representa una solución funcional, accesible y replicable para el cuidado de mascotas con requerimientos médicos diarios. Asimismo, se proponen mejoras a futuro, como la integración de conectividad inalámbrica y sensores, que permitan aumentar la interacción y supervisión remota del dispositivo. En conjunto, el trabajo combina fundamentos de diseño mecánico, electrónica básica y fabricación aditiva para responder a una problemática real con impacto directo en el bienestar animal y la tranquilidad de los propietarios.



Abstract:

This Final Degree Project presents the design, development, and validation of a rotary automatic dispenser for medicated dog kibble, intended to ensure the punctual daily administration of veterinary treatments in the absence of the caregiver. The device addresses a common issue among pet owners who struggle to comply with strict medication schedules, particularly for chronic illnesses such as leishmaniasis, where effectiveness depends on consistent dosage timing.

The mechanical system consists of a cylindrical structure internally divided into eight compartments by 45° radial vanes, one of which remains empty to enable the release of the kibble. A 28BYJ-48 stepper motor, controlled by an Arduino Nano microcontroller, performs the daily 45° rotation using the `millis()` function to manage timing without requiring a real-time clock module. The dispenser is optimized for additive manufacturing using PLA material, chosen for its biocompatibility, ease of 3D printing, and sufficient mechanical strength for domestic use.

The device features a sealed rear compartment to house the electronics, protected by a detachable lid with an O-ring to resist humidity and dust ingress. A front cover allows the refill of compartments without disassembling the unit. The housing includes rear chamfers and drill holes to ensure stable wall mounting. The system was validated through simulation in the Tinkercad environment, where the full control logic, rotation cycle, and reset functionality were tested successfully.

This prototype offers a functional, accessible, and reproducible solution for the care of pets requiring daily medical attention. Future improvements are proposed, including the integration of wireless connectivity and sensors to enhance remote monitoring and control. The project combines principles of mechanical design, basic electronics, and 3D printing technologies to provide a practical response to a real-world challenge, ultimately contributing to both animal welfare and peace of mind for pet owners.



Contenido

1. <i>Introducción</i>	11
2. <i>Objetivos</i>	13
2.1 <i>Objetivo General</i>	13
2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	13
3. <i>Desarrollo del producto de forma general</i>	16
4. <i>Diseño del cuerpo del mecanismo dispensador rotativo</i>	22
4.1 <i>Geometría general del dispositivo</i>	24
4.2 <i>Compartimentación interna</i>	27
4.3 <i>Compartimento trasero para electrónica</i>	30
4.4 <i>Mecanismo de salida y protección</i>	33
4.5 <i>Fijación y resistencia mecánica</i>	34
4.6 <i>Acoplamiento del motor y eje de rotación</i>	36
4.7 <i>Justificación del diseño modular</i>	41
4.8 <i>Posibles mejoras futuras</i>	43
5. <i>Diseño electrónico</i>	44
5.1 <i>Componentes utilizados y justificación de su elección</i>	45
5.1.1 <i>Arduino Nano</i>	45
5.1.2 <i>Motor paso a paso 28BYJ-48</i>	46
5.1.3 <i>Driver ULN2003</i>	48
5.1.4 <i>Zumbador Piezoeléctrico (LOW)</i>	49
5.1.5 <i>Fuente de alimentación. (220V a 5V)</i>	50
5.2 <i>Montaje del sistema y esquema de conexión</i>	51
5.3 <i>Función de cada componente en conjunto</i>	53



5.3.1 Arduino Nano como núcleo de control.	53
5.3.2 Señal de advertencia previa: buzzer y LED.	53
5.3.3 Driver ULN2003 y amplificación de señal.	54
5.3.4 Motor paso a paso 28BYJ-48 y mecanismo de giro.	54
5.3.5 Pulsador de reinicio.	54
5.3.6 Alimentación y conexiones comunes.	54
5.3.7 Proceso completo: secuencia operativa.	55
5.4 Lógica de funcionamiento (pseudocódigo).	56
5.5 Comportamiento general del sistema.	59
5.6 Prototipos futuros e implementación de cámaras con conectividad WiFi.	60
5.7 Prototipos futuros y mejoras propuestas.	62
<i>6. Proceso de fabricación.</i>	<i>64</i>
6.1 Materiales utilizados y composición.	64
6.2 Técnica de fabricación: impresión 3D por deposición fundida (FDM).	66
6.3 Estructura y montaje.	71
6.4 Integración de componentes electrónicos.	71
6.4.1 Preparación del compartimento.	71
6.4.3 Montaje del driver ULN2003.	72
6.4.4 Integración de la fuente de alimentación.	73
6.4.5 Cableado y distribución interna.	73
6.4.6 Incorporación de conectores accesibles.	73
6.4.7 Verificación eléctrica y prueba funcional.	74
6.4.8 Sellado con tapa y junta tórica.	74
6.4.9 Fijación final al cuerpo del dispensador.	74



7. <i>Conclusión</i>	75
8. <i>Referencias</i>	77
9. <i>Planos y Esquemas</i>	79



Índice de Imágenes

Imagen 1: Animales de compañía Petsplan [2].	11
Imagen 2: Medicación oral Perro [2].	12
Imagen 3: Ciclo Leishmaniosis Dualvet [9].	16
Imagen 4: Mapa Endémico Leishmaniosis Clínica Veterinaria San Jorge [10].	17
Imagen 5: Síntomas Leishmaniosis (Lola).	18
Imagen 6: Imagen recreada (Inteligencia artificial).	19
Imagen 7: Ensamblaje DADMM Modelado en Solidworks.	20
Imagen 8: Ensamblaje Dispensador Automático (Alzado).	22
Imagen 9: Ensamblaje montaje.	23
Imagen 10: Detalle motor de rotación y eje.	24
Imagen 11: Detalle Interior Cuerpo cilíndrico.	25
Imagen 12: Vista tambor circular sin tapadera.	26
Imagen 13: Vista en sección del cilindro con los 8 compartimentos internos y eje de rotación central.	27
Imagen 14: Vista Inferior salida medicación.	28
Imagen 15: Detalle del chaflan en el orificio de salida.	29
Imagen 16: Detalle del compartimento trasero estanco con electrónica y cierre con junta imanes (modelo en SolidWorks).	30
Imagen 17: Orificio Zumbador piezoeléctrico.	31
Imagen 18: Detalle orificios Placa Arduino e imanes.	32
Imagen 19: Detalle vista cavidad de salida.	33
Imagen 20: Detalle Chaflan.	34
Imagen 21: Vista trasera del cilindro mostrando el chaflán y los taladros para anclaje.	35



Imagen 22: Detalle eje del motor.	36
Imagen 23: Detalle canalizaciones.	37
Imagen 24: Detalle posición ciclo de dispensación.	38
Imagen 25: Aspas.....	39
Imagen 26: Sección del acoplamiento entre el motor y el eje central de las aspas.	40
Imagen 27: Placa Arduino UNO [14].....	45
Imagen 28: Motor paso a paso 28BYJ-48 [14].	47
Imagen 29: Driver ULN2003 [14].	48
Imagen 30: Zumbador Piezoeléctrico (LOW) [14].	49
Imagen 31: Transformador 220V-5V [14].....	50
Imagen 32: Esquemático de conexión completo simulado Tinkercad.	52
Imagen 33: Simulación del sistema funcionando en Tinkercad, con el motor girando y el zumbador activado [6].	60
Imagen 34: Simulación Prototipo Futuro [Inteligencia Artificial].	61
Imagen 35: Impresora 3D Bambu P1s [15].....	65
Imagen 36: Modelo 3D y configuración de impresión del cuerpo cilíndrico en Bambu Studio.....	67
Imagen 37: Vista 3D de las aspas rotativas y su disposición para impresión.	68
Imagen 38: Representación 3D y disposición de impresión de la tapadera principal. .	69



Índice de Tablas

Tabla 1. Relación entre especie, tamaño de croqueta y dosis aproximada.	42
Tabla 2. Componentes Propuestos.	63

1. Introducción.

En la sociedad contemporánea, el cuidado de los animales de compañía ha adquirido una importancia creciente tanto en el ámbito doméstico como en el emocional. Perros, gatos, aves, conejos o pequeños mamíferos ya no son considerados simplemente animales domésticos, sino miembros activos del entorno afectivo de muchas familias. Esta transformación en la forma de relacionarse con las mascotas ha incrementado la preocupación por su bienestar, impulsando nuevas necesidades en cuanto a su alimentación, salud y calidad de vida [1].



Imagen 1: Animales de compañía Petsplan [2].

Sin embargo, el ritmo de vida actual, marcado por largas jornadas laborales, desplazamientos frecuentes, estudios y otros compromisos, dificulta a menudo que los propietarios puedan atender adecuadamente a sus animales. Esta limitación es especialmente crítica cuando la mascota requiere un tratamiento médico diario y constante, como ocurre con algunas enfermedades crónicas. La imposibilidad de administrar la medicación a la hora adecuada puede reducir la eficacia del tratamiento, generar recaídas o incluso poner en riesgo la vida del animal [2].

Entre las patologías más comunes que exigen una administración oral diaria de fármacos se encuentra la leishmaniasis en perros, una enfermedad endémica en áreas mediterráneas que suele tratarse con alopurinol o miltefosina [3]. También destaca la insuficiencia renal crónica, muy prevalente en gatos de edad avanzada, que obliga a un control farmacológico y nutricional preciso [4]. Asimismo, la epilepsia idiopática en perros y gatos requiere la administración continua de antiepilépticos como el fenobarbital o el bromuro potásico [5]. Otras afecciones como el hipotiroidismo, la

diabetes mellitus o la insuficiencia cardíaca también implican la toma diaria de medicamentos, sin posibilidad de interrupciones [6].



Imagen 2: Medicación oral Perro [2].

Aunque en los últimos años se han desarrollado dispositivos automáticos para la alimentación general de mascotas, la mayoría no están diseñados para gestionar con precisión la dispensación de medicamentos. Estos sistemas suelen centrarse en la entrega de pienso seco en cantidades variables, sin considerar factores clave como la dosis exacta, el momento específico del día o la necesidad de camuflar el fármaco en el alimento para garantizar su ingesta [7]. Además, pocos de estos dispositivos presentan estructuras modulares que permitan adaptarlos a diferentes especies o tamaños de animales, lo que limita su utilidad práctica en casos clínicos específicos.

Para dar respuesta a esta necesidad, se ha desarrollado un prototipo funcional denominado **Dispositivo Automatizado de Dispensación Medicada para Mascotas (DADMM)**. Este sistema ha sido diseñado para liberar una dosis diaria de alimento que contiene el medicamento en un horario predefinido, sin necesidad de intervención humana. Aunque inicialmente ha sido concebido para el tratamiento diario en perros, su diseño permite una adaptación sencilla a otras especies que requieran medicación oral, como gatos o conejos. El DADMM se plantea así como una solución tecnológica que mejora la adherencia al tratamiento, garantiza la continuidad terapéutica y ofrece mayor tranquilidad a los cuidadores.



2. Objetivos.

Este apartado establece las metas que guían el desarrollo del proyecto del dispensador automático rotativo de dosis medicadas para perros. Se plantean tanto un objetivo general que sintetiza la finalidad principal del dispositivo, como varios objetivos específicos que detallan las etapas técnicas y funcionales necesarias para su diseño, fabricación, validación y futuras mejoras.

2.1 Objetivo General

Diseñar, desarrollar y validar un dispensador automático rotativo capaz de almacenar y liberar diariamente dosis individuales de croquetas medicadas para perros, garantizando la correcta administración del tratamiento en ausencia del cuidador y mejorando la calidad de vida tanto de la mascota como de su propietario.

Este objetivo central responde a la creciente necesidad de proporcionar soluciones tecnológicas que faciliten el cuidado responsable de mascotas con enfermedades crónicas, como la leishmaniasis, las cuales requieren una medicación estricta y puntual. La automatización de la dispensación busca minimizar errores humanos, asegurar la continuidad del tratamiento y brindar tranquilidad al propietario mediante un sistema confiable y accesible.

2.2 Objetivos Específicos

Objetivo 1: Diseño Mecánico Integral del Dispensador.

Desarrollar un cuerpo cilíndrico robusto y funcional, dividido internamente en ocho compartimentos mediante aspas giratorias a 45°, capaz de almacenar croquetas con un diámetro máximo de 2 cm y dispensar una unidad diaria a través de un compartimento de salida diseñado para evitar atascos.

- *Análisis y fundamentación:* El diseño cilíndrico facilita un movimiento rotativo preciso y repetible, que garantiza la alineación exacta del compartimento dispensador. Las aspas han sido optimizadas para contener la dosis sin riesgo de caída accidental ni mezcla entre compartimentos.
- *Desarrollo CAD:* El modelado en SolidWorks permitió estudiar interferencias, tolerancias y ensamblajes, asegurando la funcionalidad y la correcta integración de todas las piezas.
- *Ergonomía y funcionalidad:* Se consideraron aspectos como la facilidad de recarga y limpieza, así como la resistencia estructural necesaria para un uso cotidiano.



Objetivo 2: Selección y Caracterización de Materiales y Procesos de Fabricación.

Elegir materiales plásticos compatibles con impresión 3D, principalmente ABS, que ofrezcan resistencia mecánica, durabilidad y seguridad para el uso previsto, además de definir parámetros de impresión que garanticen la calidad y funcionalidad de las piezas.

- *Justificación técnica:* El ABS proporciona alta resistencia a impactos, estabilidad térmica y resistencia química, adecuado para un dispositivo expuesto a condiciones domésticas.
- *Configuración de impresión:* Se optimizaron parámetros de impresión como orientación, relleno y grosor de paredes para minimizar deformaciones y maximizar la resistencia mecánica.
- *Sostenibilidad y durabilidad:* Se consideraron diseños con refuerzos internos y espesores adecuados para prolongar la vida útil del dispositivo.

Objetivo 3: Diseño Electrónico y Desarrollo del Sistema de Control.

Implementar un sistema electrónico basado en Arduino Nano que controle un motor paso a paso 28BYJ-48 con driver ULN2003 para ejecutar giros precisos de 45° diarios, incluyendo señales acústicas y visuales previas a la dispensación.

- *Selección de componentes:* Arduino Nano por su tamaño compacto y bajo consumo, motor paso a paso con driver para precisión en el giro.
- *Integración:* Diseño de un compartimento electrónico que protege y facilita el acceso a los componentes.
- *Programación:* Uso de la función milis para gestionar el tiempo sin necesidad de un módulo RTC, simplificando la electrónica y facilitando la simulación.
- *Interactividad:* Inclusión de zumbador y LED para alertas sensoriales previas a la dispensación.

Objetivo 4: Validación y Simulación del Sistema.

Verificar el correcto funcionamiento del sistema electrónico y el código de control mediante simulación en Tinkercad, garantizando la lógica y comportamiento esperado antes de la fabricación física.



- *Importancia:* La simulación permite detectar errores sin costos materiales y optimizar el diseño.
- *Procedimiento:* Configuración completa del circuito y ejecución del código en Tinkercad para validar ciclos de dispensación y respuestas a señales de usuario.
- *Resultados esperados:* Confirmación de la activación previa, giro correcto y respuesta al reinicio.

Objetivo 5: Desarrollo de un Diseño Modular y Accesible.

Proponer un diseño modular con piezas ensamblables mediante tornillos y encajes, que facilite la recarga de croquetas, mantenimiento y acceso a la electrónica, incorporando tapas con juntas tóricas para protección contra polvo y humedad.

- *Ergonomía:* Tapas desmontables que simplifican la operación diaria.
- *Durabilidad:* Sellado efectivo mediante juntas tóricas.
- *Fijación:* Diseño con taladros y chaflanes para anclaje seguro en superficies verticales.

Objetivo 6: Propuesta de Mejoras Tecnológicas Futuras.

Incorporar mejoras que integren tecnologías como cámaras WiFi y sensores para monitoreo remoto y validación automática de dispensación, aumentando la funcionalidad y confiabilidad del sistema.

- *Relevancia:* Permitir al usuario supervisar la dispensación y consumo a distancia, actuando en caso de anomalías.
- *Tecnologías contempladas:* Cámaras IP compactas, sensores de peso e infrarrojos para detección de dosis y presencia del animal.
- *Impacto:* Fomento de la digitalización en el cuidado de mascotas, especialmente útil para propietarios con limitaciones de tiempo o múltiples animales.

3.Desarrollo del producto de forma general.

En la sociedad actual, donde la vida avanza a un ritmo acelerado y existe una mayor conciencia sobre el bienestar de los animales, se ha detectado una necesidad importante en el cuidado veterinario doméstico: garantizar que los animales de compañía reciban sus medicamentos orales de forma puntual, segura y controlada. Esta demanda es especialmente crítica cuando el cuidador no puede estar presente diariamente para administrar la dosis, ya sea por razones laborales, desplazamientos o limitaciones personales [8].

En muchos hogares, los perros y gatos son las mascotas más comunes, aunque también existen pequeños mamíferos, aves y reptiles que requieren cuidados continuos. Estos animales pueden padecer enfermedades crónicas que exigen tratamientos prolongados y estrictos. Un ejemplo destacado es la leishmaniasis canina, una enfermedad parasitaria crónica causada por el protozoo *Leishmania infantum*, que se transmite mediante la picadura de la hembra del flebótomo (*Phlebotomus perniciosus*) [9].

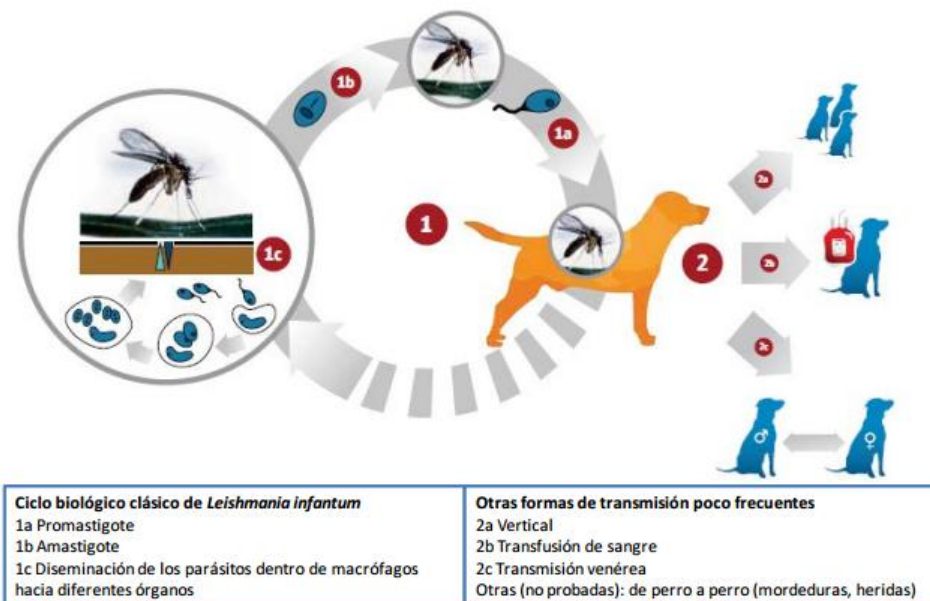


Imagen 3: Ciclo Leishmaniosis Dualvet [9].

Esta enfermedad se encuentra principalmente en regiones cálidas y húmedas del sur de Europa, con especial incidencia en España, especialmente en zonas como Málaga. Las condiciones climáticas de esta provincia, que incluyen temperaturas medias elevadas, alta humedad, baja altitud y estaciones cálidas prolongadas, favorecen la proliferación del insecto vector durante gran parte del año [10].

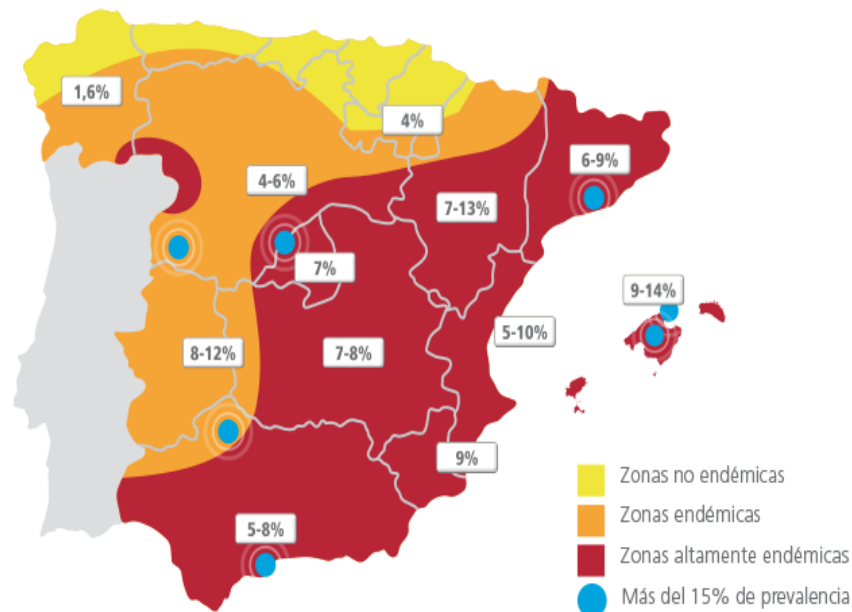


Imagen 4: Mapa Endémico Leishmaniosis Clínica Veterinaria San Jorge [10].

Se calcula que en España entre el 7 % y el 15 % de los perros están infectados con *Leishmania infantum*, lo que representa una población afectada de entre 700.000 y más de un millón de ejemplares, considerando el censo canino aproximado en España. [5]. Esta elevada prevalencia convierte a la leishmaniasis en un problema sanitario de gran relevancia, tanto por su impacto en la calidad de vida del animal como por el coste y la duración de los tratamientos necesarios para su control.

Los síntomas incluyen pérdida de peso, lesiones cutáneas, letargo, crecimiento anormal de las uñas, sangrado nasal y fallos renales en fases avanzadas. Debido a que el tratamiento no elimina por completo al parásito, sino que lo mantiene bajo control, resulta indispensable garantizar una administración rigurosa y diaria del medicamento [11].

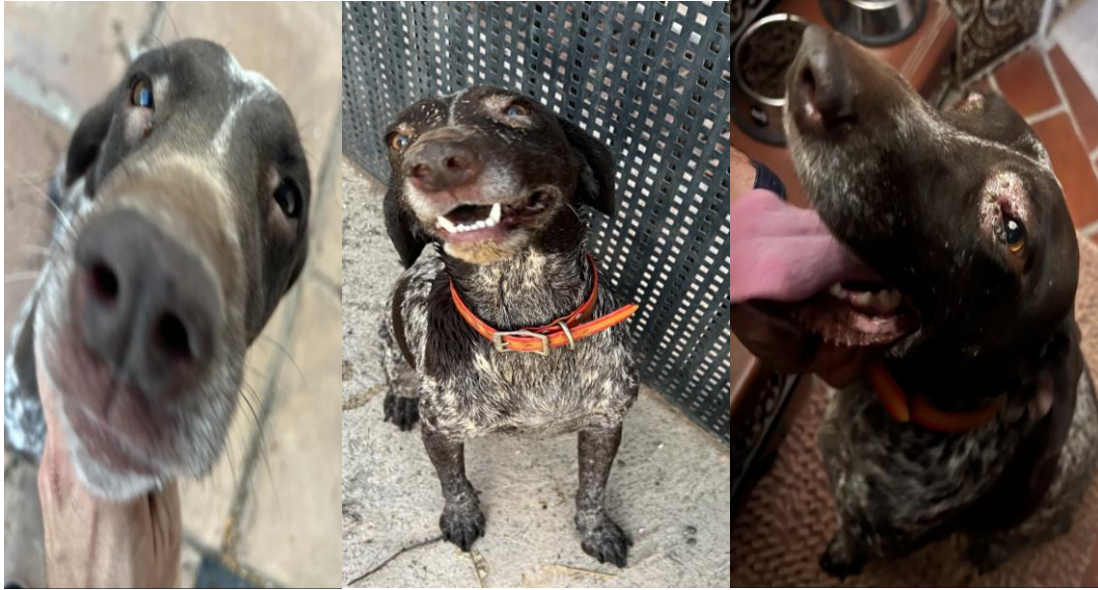


Imagen 5: Síntomas Leishmaniosis (Lola).

La interrupción o el retraso en las tomas puede desencadenar recaídas, agravamiento del estado clínico o incluso el fallecimiento del animal. En este sentido, la leishmaniosis representa un claro ejemplo del tipo de patologías que justifican el desarrollo de soluciones tecnológicas específicas para la dispensación automatizada de medicación oral en mascotas.

Además de esta enfermedad, otras afecciones crónicas como la diabetes mellitus, la epilepsia idiopática, las enfermedades cardiovasculares, el hipotiroidismo o la artrosis son también comunes en animales de compañía y requieren la administración rigurosa de medicamentos en formatos sólidos como pastillas o cápsulas [12].

Uno de los principales retos en el entorno doméstico es lograr que la mascota consuma el medicamento. Para facilitararlo, es común ocultar la pastilla dentro de una croqueta o golosina, pero esto requiere la presencia activa del cuidador en el momento de la administración, algo que no siempre es posible. Por ello, resulta necesario desarrollar soluciones tecnológicas que automatizan este proceso sin comprometer la seguridad del tratamiento [13].

El dispositivo propuesto en este proyecto se ha diseñado para satisfacer estas necesidades. No es un comedero automático convencional, sino un dosificador específico para la administración de medicamentos orales. Su mecanismo rotativo permite liberar una única croqueta medicada cada día a la hora programada, lo que facilita el control del tratamiento [13].



Imagen 6: Imagen recreada (Inteligencia artificial).

Cada croqueta tiene un diámetro aproximado de 2 cm, suficiente para contener la mayoría de las pastillas veterinarias estándar. Este diseño geométrico asegura la compatibilidad con diversos tratamientos y protege cada dosis hasta su dispensación [13].

Uno de los principales retos en el desarrollo de este dispositivo ha sido superar las limitaciones que presentan los sistemas automáticos de alimentación tradicionales. Aunque estos sistemas son eficaces para dispensar grandes cantidades de pienso seco, carecen de precisión tanto en el control del momento exacto como en la cantidad de alimento liberado. Además, no cuentan con mecanismos adecuados para prevenir la contaminación cruzada ni para proteger el alimento frente a factores externos como la humedad, la suciedad o posibles interferencias por parte de otros animales.

El dispensador diseñado utiliza un mecanismo rotativo compuesto por un cilindro con ocho compartimentos distribuidos de manera uniforme. Siete de estos espacios están destinados a almacenar croquetas medicadas, mientras que el octavo queda vacío, lo que permite que al girar el mecanismo se dispense una unidad por día de forma controlada. Esta configuración facilita la programación semanal del suministro, minimizando la necesidad de supervisión constante por parte del cuidador y

garantizando que el tratamiento continúe sin interrupciones, incluso cuando este no pueda estar presente.

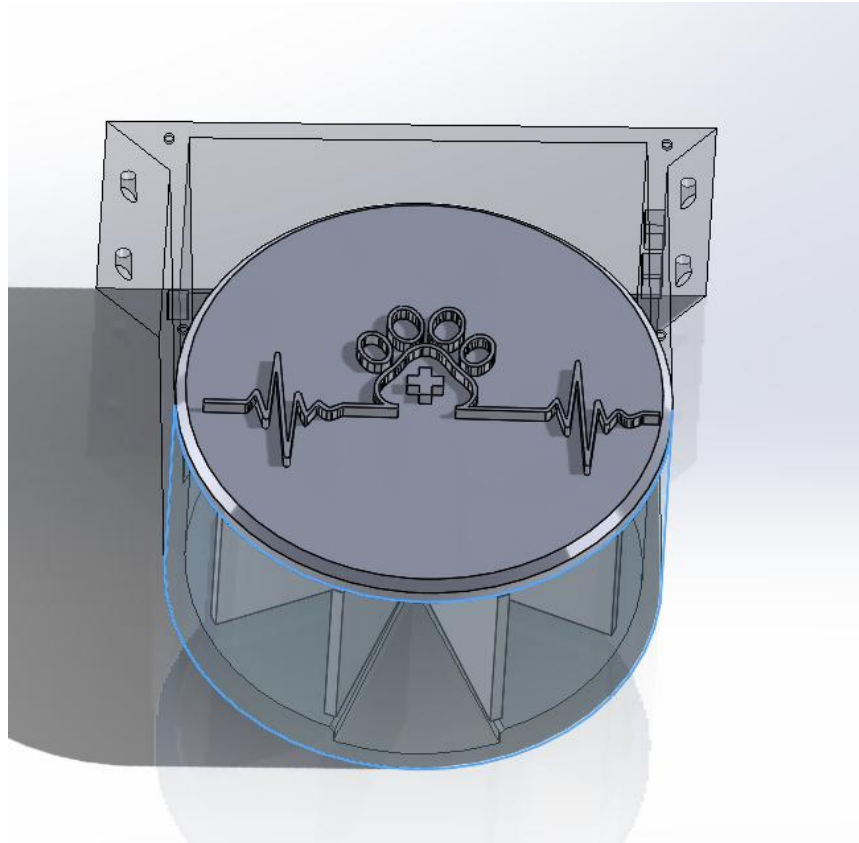


Imagen 7: Ensamblaje DADMM Modelado en Solidworks.

Respecto a los aspectos de seguridad e higiene, el dispositivo incorpora una tapa con cierre hermético que cuenta con una junta tórica. Este componente asegura un sellado efectivo, protegiendo el interior frente a la infiltración de agua, polvo o la entrada de animales no deseados.

Adicionalmente, el diseño contempla un compartimento trasero destinado exclusivamente a alojar los elementos electrónicos que permiten la operación automática del sistema, manteniéndolos separados del área de almacenamiento de alimento para evitar cualquier contaminación o daño.

El dispositivo está concebido para ser instalado en la pared, gracias a un chafalán ubicado en la parte posterior que dispone de dos orificios para su fijación segura en superficies verticales. Esta disposición no solo optimiza el uso del espacio, sino que también restringe el acceso directo del animal al mecanismo rotativo, previniendo manipulaciones involuntarias o posibles daños.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



En conjunto, este desarrollo constituye una solución técnica innovadora y efectiva frente a una necesidad real, brindando a los cuidadores una herramienta fiable que garantiza el bienestar de sus mascotas, incluso cuando estos se encuentran ausentes temporalmente. Su diseño escalable y adaptable permite su aplicación a distintas especies y tipos de tratamiento, aportando un valor significativo tanto en entornos domésticos como profesionales en el ámbito de la salud animal.

4. Diseño del cuerpo del mecanismo dispensador rotativo.

El diseño del sistema dispensador rotativo de dosis médicas se ha planteado desde una doble perspectiva: por un lado, que sea funcional y fácil de usar; y por otro, que cuente con una estructura sólida y adecuada para su entorno. A diferencia de los dispensadores automáticos convencionales, este dispositivo no está pensado simplemente para soltar alimento, sino que busca cumplir con una necesidad mucho más específica, asegurar la administración diaria de tratamientos orales a animales domésticos, especialmente en casos como la leishmaniosis canina, donde no se puede fallar con la entrega de la medicación.

Desde el inicio, se han tenido en cuenta aspectos clave como la protección frente a la humedad ambiental, que puede afectar a ciertos medicamentos, así como la seguridad del sistema para evitar manipulaciones por parte de niños o de otras personas no autorizadas. También se ha puesto especial atención en impedir que el propio animal tenga acceso al mecanismo, ya que eso podría suponer una alteración en la dosis o incluso la ingesta accidental de más de una unidad.

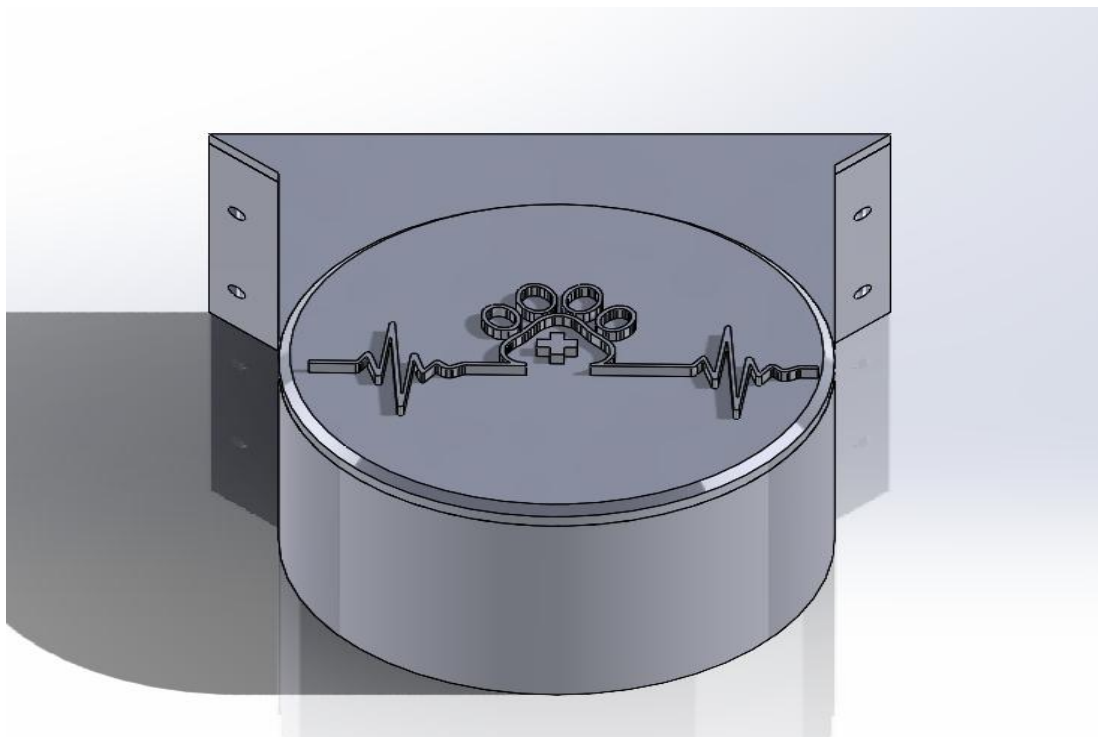


Imagen 8: Ensamblaje Dispensador Automático (Alzado).

Se ha llevado a cabo un modelado completo y detallado de todo el conjunto teniendo en cuenta cada uno de los elementos clave, como el tambor giratorio, la tapa superior con su correspondiente junta tórica, el compartimento destinado a la electrónica y los puntos de anclaje para su fijación en pared.

Gracias a este trabajo previo ha sido posible verificar que las piezas encajan correctamente entre sí en las distintas posiciones del mecanismo rotativo. Además, se han podido prever posibles interferencias, comprobar que las tolerancias de montaje son adecuadas y valorar con antelación si la fabricación puede realizarse tanto por impresión 3D como mediante procesos de mecanizado más convencionales.

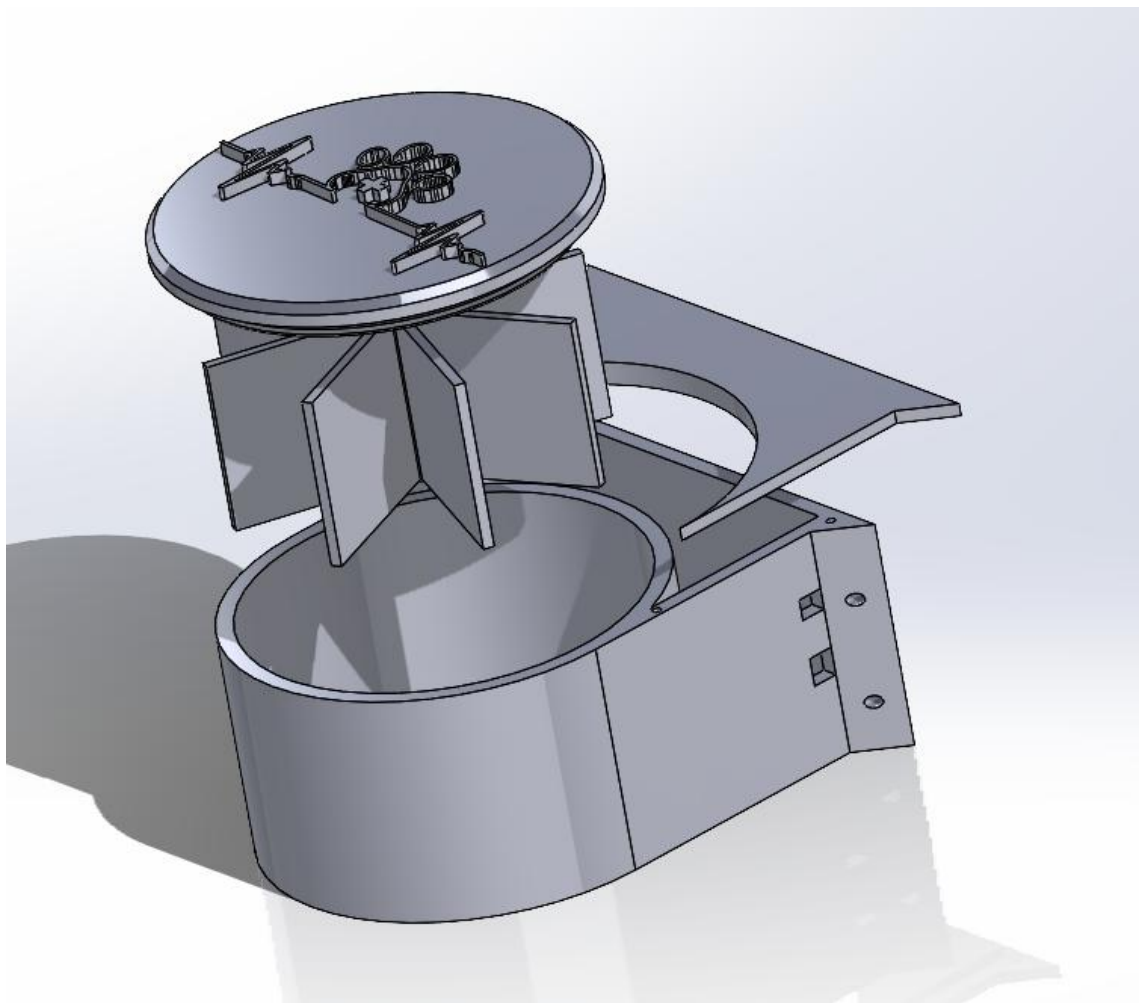


Imagen 9: Ensamblaje montaje.

También se han utilizado herramientas internas para el análisis de colisiones y la simulación del movimiento, lo que ha permitido verificar que el sistema rota exactamente 45 grados en cada paso y que cada compartimento queda perfectamente

alineado con la salida. Gracias a esto se ha podido comprobar que el mecanismo cumple su función correctamente antes de avanzar hacia la fabricación del prototipo.

4.1 Geometría general del dispositivo.

El cuerpo principal del dispensador se ha diseñado con una forma cilíndrica, una solución que aporta varias ventajas tanto a nivel funcional como estructural y en el proceso de fabricación. Esta geometría permite distribuir de manera eficiente los compartimentos internos, aprovechando al máximo el espacio útil en un volumen compacto y simétrico.

Además, el diseño cilíndrico facilita la instalación de un mecanismo de rotación central, lo que asegura un movimiento uniforme, controlado y preciso del tambor a través de un eje conectado a un motor paso a paso.

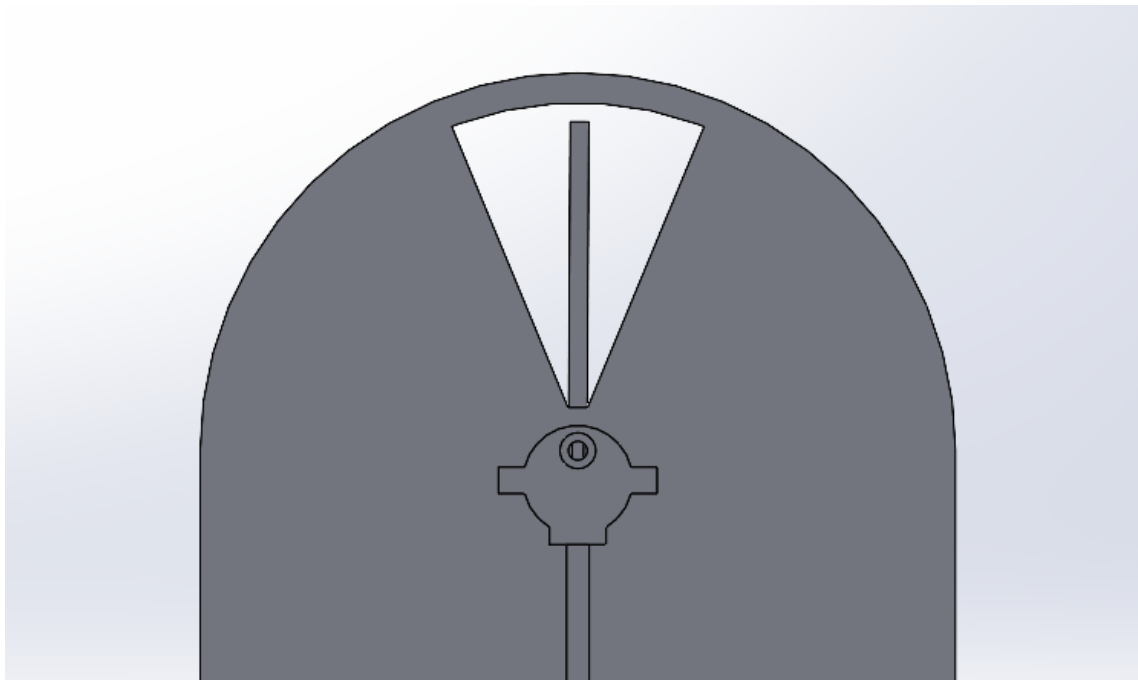


Imagen 10: Detalle motor de rotación y eje.

El cilindro tiene un diámetro exterior de unos 200 mm y una altura de 108 mm, unas dimensiones elegidas con cuidado para lograr un buen equilibrio entre la capacidad de almacenamiento, la estabilidad estructural y la ergonomía del conjunto.

En su interior, el volumen se divide en ocho compartimentos sectoriales, cada uno con un ángulo de 45 grados, separados por aspas radiales que funcionan como tabiques entre las cavidades.

Estas aspas cuentan con paredes interiores inclinadas, que no solo ayudan a guiar las croquetas hacia el fondo del compartimento, sino que también facilitan la evacuación del contenido cuando gira el mecanismo y evitan la acumulación de residuos o bloqueos.

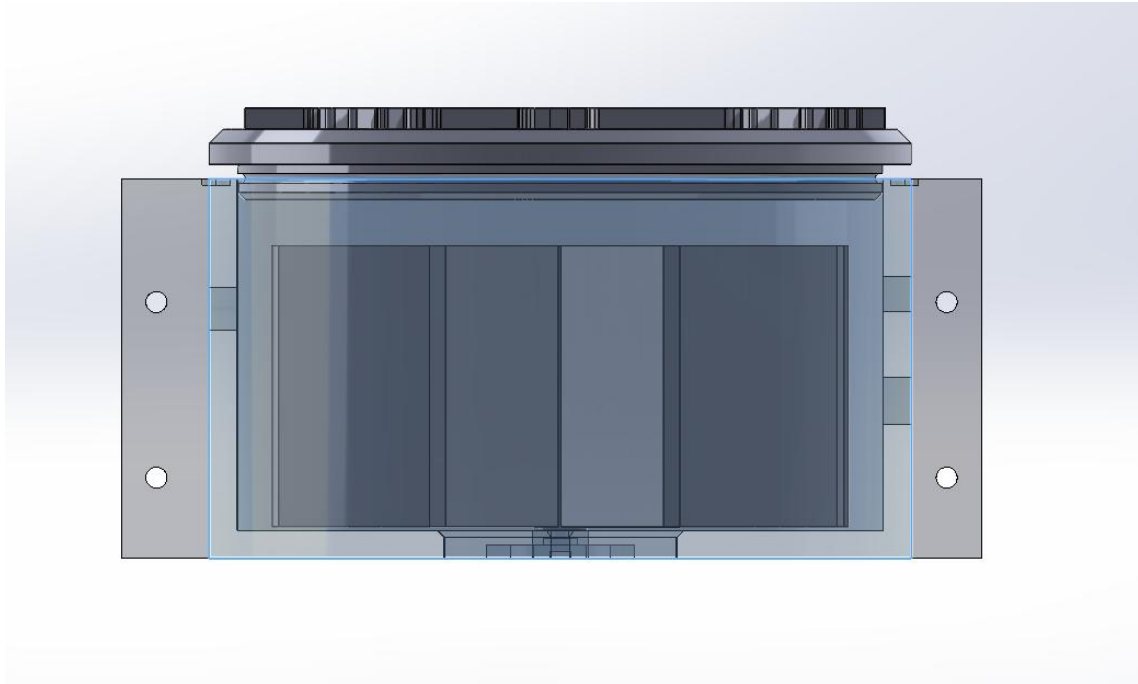


Imagen 11: Detalle Interior Cuerpo cilíndrico.

Cada cavidad mantiene un volumen constante que es suficiente para alojar varias croquetas de hasta 20 mm de diámetro. Esta uniformidad en la geometría facilita la estandarización del proceso de dosificación y simplifica los cálculos de carga y distribución durante la fase de diseño.

La distribución radial no solo responde a una necesidad funcional, sino que también mejora la fabricación del dispositivo, ya que permite imprimirlo en 3D como una sola pieza o con pocas uniones, además de adaptarse bien a procesos industriales como el moldeo por inyección

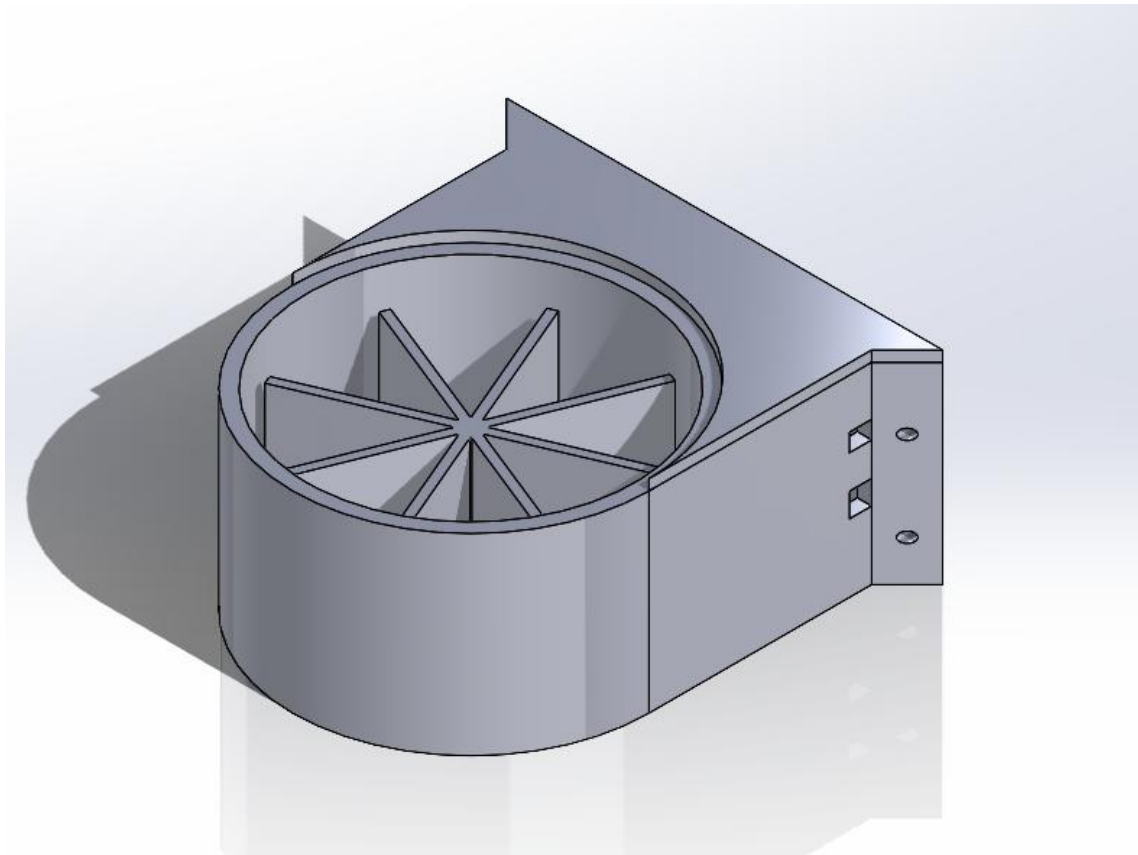


Imagen 12: Vista tambor circular sin tapadera.

Además, la forma cilíndrica ayuda a distribuir de manera uniforme los esfuerzos mecánicos cuando el tambor gira, lo que reduce el desgaste por fricción y asegura que el sistema tenga una mayor durabilidad, incluso en usos repetidos a lo largo del tiempo.

4.2 Compartimentación interna.

Las aspas internas del mecanismo están colocadas de forma radial con una separación de 45 grados entre ellas, lo que divide el volumen del cilindro en ocho compartimentos iguales. De estos ocho espacios, siete están destinados a almacenar dosis individuales, mientras que el octavo queda vacío y funciona como salida para que, al girar, se dispense el contenido de manera controlada.

Esta distribución angular se eligió para aprovechar al máximo la capacidad del dispositivo sin afectar el correcto funcionamiento del sistema de liberación.

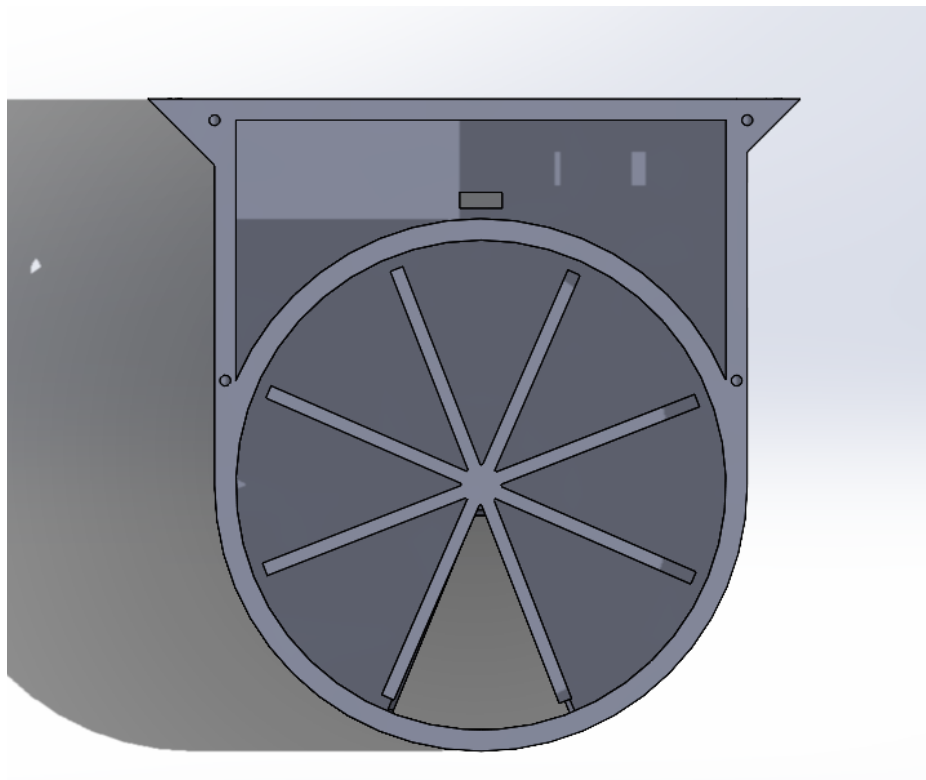


Imagen 13: Vista en sección del cilindro con los 8 compartimentos internos y eje de rotación central.

El sistema funciona mediante un mecanismo rotativo secuencial, donde un motor paso a paso, controlado por un microcontrolador, hace girar el conjunto en pasos de 45 grados. De esta forma, cada compartimento se alinea sucesivamente con el orificio de salida.

Gracias a esta configuración, el dispositivo puede dispensar automáticamente una dosis diaria durante siete días seguidos, tras lo cual el ciclo vuelve a comenzar.

Este diseño aprovecha eficientemente el espacio interno del depósito, facilita el control del sistema y asegura una dosificación precisa y fiable a lo largo del tiempo.

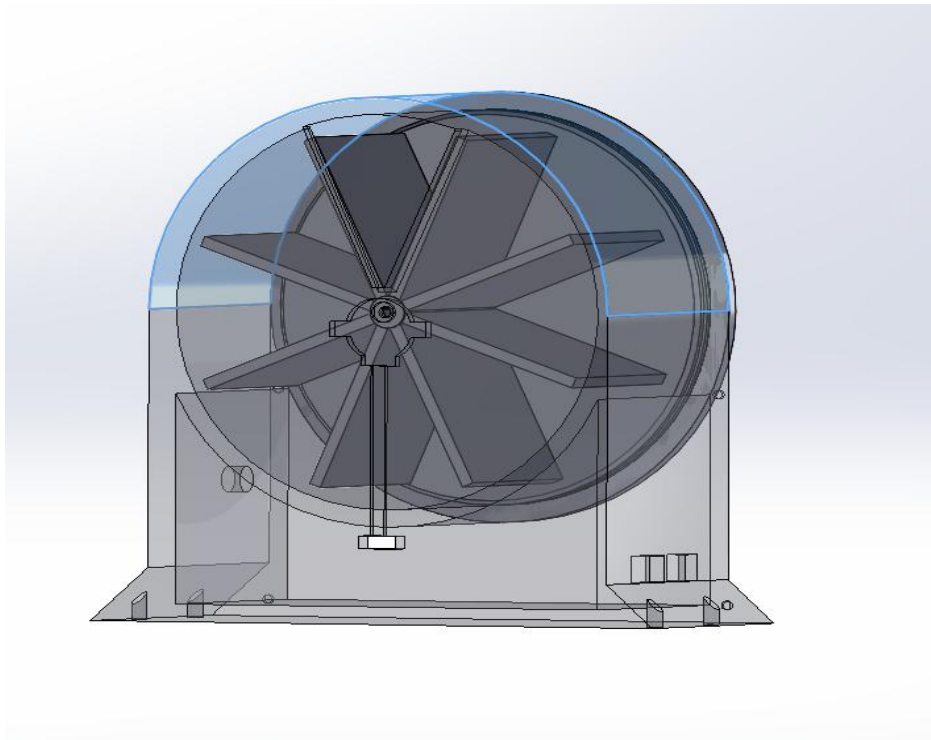


Imagen 14: Vista Inferior salida medicación.

Cada compartimento cuenta con una geometría interna diseñada para alojar varias croquetas, lo que permite dispensar múltiples dosis en una sola entrega si es necesario. Las croquetas pueden tener un diámetro máximo de 20 mm, y el volumen de cada sección asegura que varias unidades encajen sin riesgo de obstrucción. Esta capacidad extra ofrece flexibilidad al sistema, facilitando su uso tanto en tratamientos con una dosis diaria única como en aquellos que requieren cantidades mayores.

Para garantizar que el contenido se mantenga estable durante la rotación del tambor, las dimensiones de los compartimentos se han ajustado para evitar que las croquetas se desplacen y puedan interferir con el mecanismo. Además, el fondo de cada compartimento tiene una forma semiesférica que ayuda a que las croquetas caigan naturalmente por la gravedad. Esta forma evita acumulaciones o bloqueos y asegura un flujo libre y eficiente hacia el orificio de salida cuando el compartimento correspondiente se alinea con él.

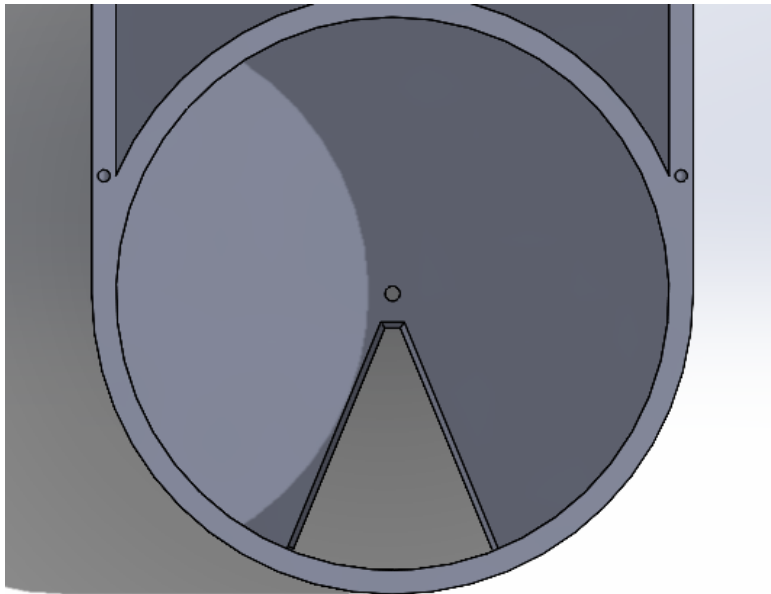


Imagen 15: Detalle del chaflán en el orificio de salida.

Además, el orificio de salida cuenta con un chaflán de 45 grados en su borde inferior, lo que facilita el giro y la redirección de la croqueta durante su caída. Esta inclinación mejora el paso del contenido desde el compartimento interno hacia el exterior, reduciendo la posibilidad de atascos y garantizando una dispensación fluida y constante.

En conjunto, todas estas características aseguran un proceso de dosificación seguro, preciso y adaptable a distintas necesidades terapéuticas y contextos de uso.

4.3 Compartimento trasero para electrónica.

En la parte trasera del cuerpo cilíndrico se ha incorporado un compartimento estanco destinado a alojar los componentes electrónicos básicos del sistema, como la placa de control Arduino Nano (o similar), el driver ULN2003 para el motor paso a paso, el cableado interno y un zumbador piezoeléctrico para avisos.

Este espacio adicional está diseñado como una extensión del cuerpo principal, conservando la continuidad geométrica y estructural del conjunto, pero al mismo tiempo asegurando una separación adecuada para proteger la electrónica de agentes externos.

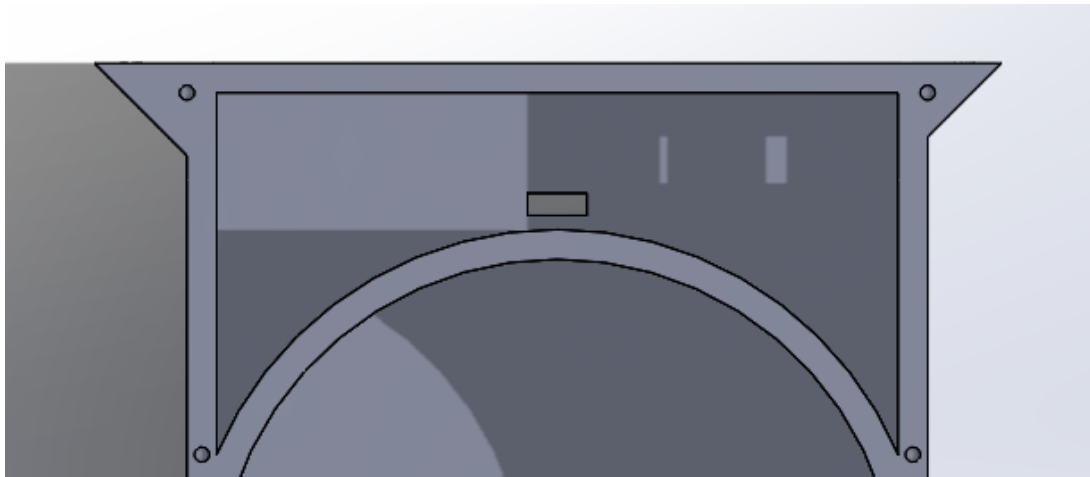


Imagen 16: Detalle del compartimento trasero estanco con electrónica y cierre con junta imanes (modelo en SolidWorks).

La caja trasera cuenta con una tapa independiente que se sella mediante imanes de neodimio. Esta tapa encaja en una ranura perimetral diseñada específicamente para asegurar la estanqueidad frente a la humedad, el polvo y otros contaminantes ambientales, cumpliendo con los requisitos de protección necesarios para su uso en entornos domésticos o semicontrolados.

Para mantener la funcionalidad acústica del sistema, se han añadido orificios calibrados en la carcasa justo delante del zumbador piezoeléctrico. Estos orificios están dimensionados para permitir una salida adecuada del sonido sin comprometer la estanqueidad del compartimento ni la integridad del dispositivo. Así se asegura que las señales acústicas de aviso se escuchen con claridad, incluso cuando el dispensador está instalado en una pared o en lugares menos accesibles.

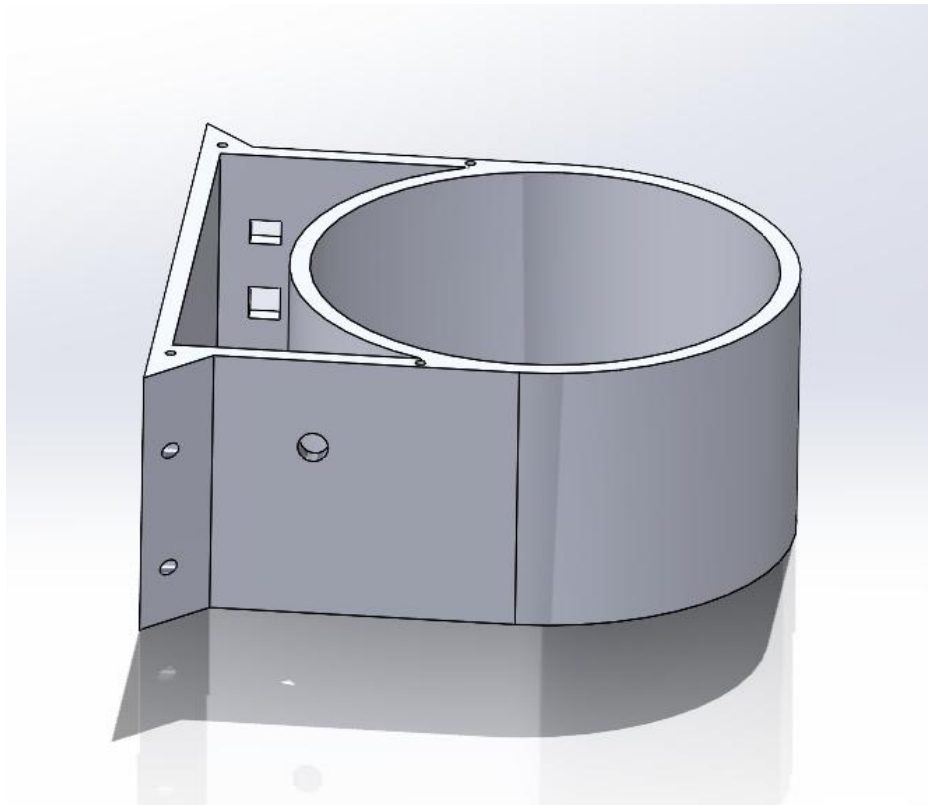


Imagen 17: Orificio Zumbador piezoeléctrico.

La placa Arduino se ha colocado de forma estratégica en el interior, de modo que tanto la salida de corriente como la interfaz USB para programación y configuración se dirigen hacia un lateral del compartimento mediante aberturas diseñadas para ello. Esto permite conectar el sistema desde el exterior con un cargador estándar de red eléctrica, que convierte 220 V CA a 5 V CC, sin necesidad de quitar la tapa ni manipular la electrónica interna. De esta manera se garantiza una alimentación constante, segura y fiable, evitando los problemas que pueden surgir con baterías recargables o reemplazables.

Para asegurar una fijación firme pero fácil de desmontar entre la tapa del compartimento y el cuerpo cilíndrico, se han incorporado ocho alojamientos en total, distribuidos en parejas: cuatro en la tapa y cuatro en el cuerpo principal. En cada uno de estos espacios se colocan imanes de neodimio pequeños que proporcionan una unión magnética sólida, manteniendo el cierre estable ante vibraciones o impactos leves, pero que también permiten retirar la tapa con rapidez cuando sea necesario acceder al interior. Este sistema de fijación magnética ofrece una solución limpia, funcional y de bajo mantenimiento, en línea con el enfoque práctico y modular del diseño general.

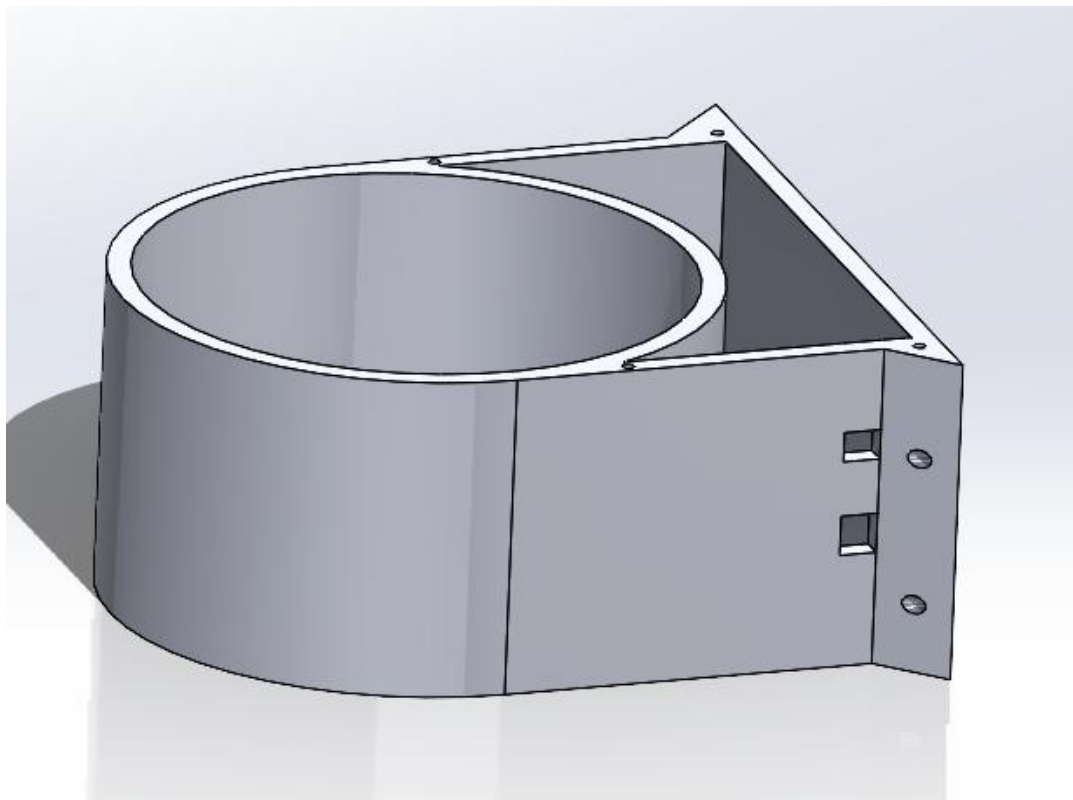


Imagen 18: Detalle orificios Placa Arduino e imanes.

4.4 Mecanismo de salida y protección.

El sistema de dispensación del dispositivo se basa en una abertura situada en la parte inferior, alineada de forma precisa con la octava cavidad vacía del tambor rotativo. Gracias a esta disposición, cuando el eje central realiza el giro programado, la croqueta contenida en la cavidad activa cae por gravedad a través del orificio de salida, sin que sea necesaria ninguna intervención externa ni mecanismos adicionales de empuje o apertura. Esta simplicidad hace que el sistema sea muy fiable y minimiza los puntos susceptibles de mantenimiento.

Una ventaja importante de este diseño es que, una vez dispensada la dosis, la estructura rotativa queda totalmente aislada del exterior. La rotación sitúa inmediatamente una cavidad cerrada sobre el orificio inferior, impidiendo la entrada de agentes externos como roedores, insectos o suciedad. Esto ofrece una protección pasiva, garantizando la higiene y la seguridad del contenido en todo momento, excepto durante el breve instante de la dispensación.

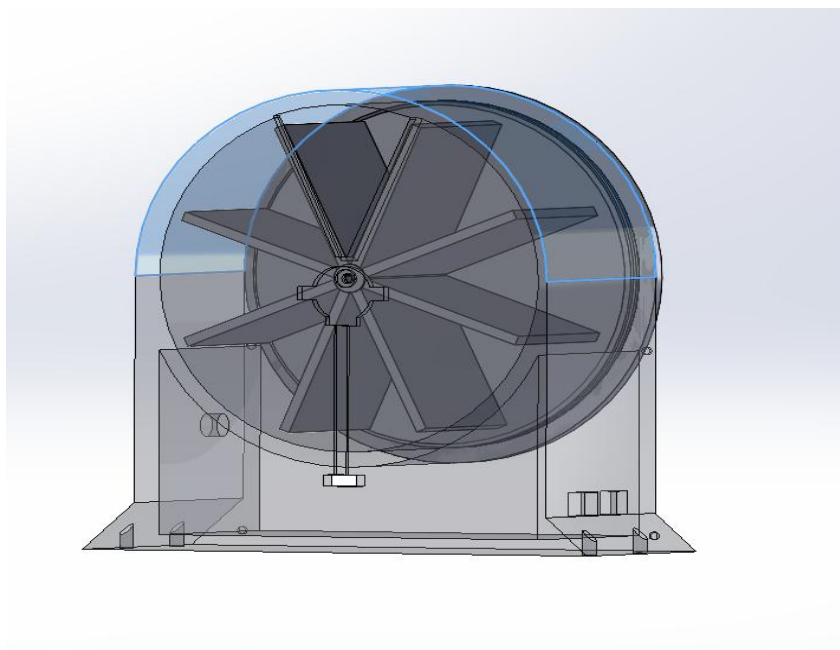


Imagen 19: Detalle vista cavidad de salida.

Además, el orificio de salida cuenta con un chaflán interno que facilita que el comprimido deslice con facilidad hacia el exterior, incluso cuando la humedad relativa es alta. Esta inclinación reduce significativamente el riesgo de que el medicamento se quede atascado en el conducto de salida, algo especialmente importante cuando se emplean croquetas o comprimidos con superficies rugosas o que pueden tener cierta adhesividad.

4.5 Fijación y resistencia mecánica

La carcasa principal del dispensador cuenta con un chaflán posterior que incorpora dos orificios pasantes reforzados, diseñados para permitir su fijación directa a superficies verticales mediante tornillos convencionales. Esta solución garantiza una sujeción estable y segura, tanto en interiores como en espacios exteriores techados, como porches, terrazas o casetas, siempre que se evite la exposición directa a la intemperie. La forma y orientación del chaflán están pensadas para facilitar el montaje sin interferir con el compartimento trasero de la electrónica ni con el movimiento del tambor rotativo.

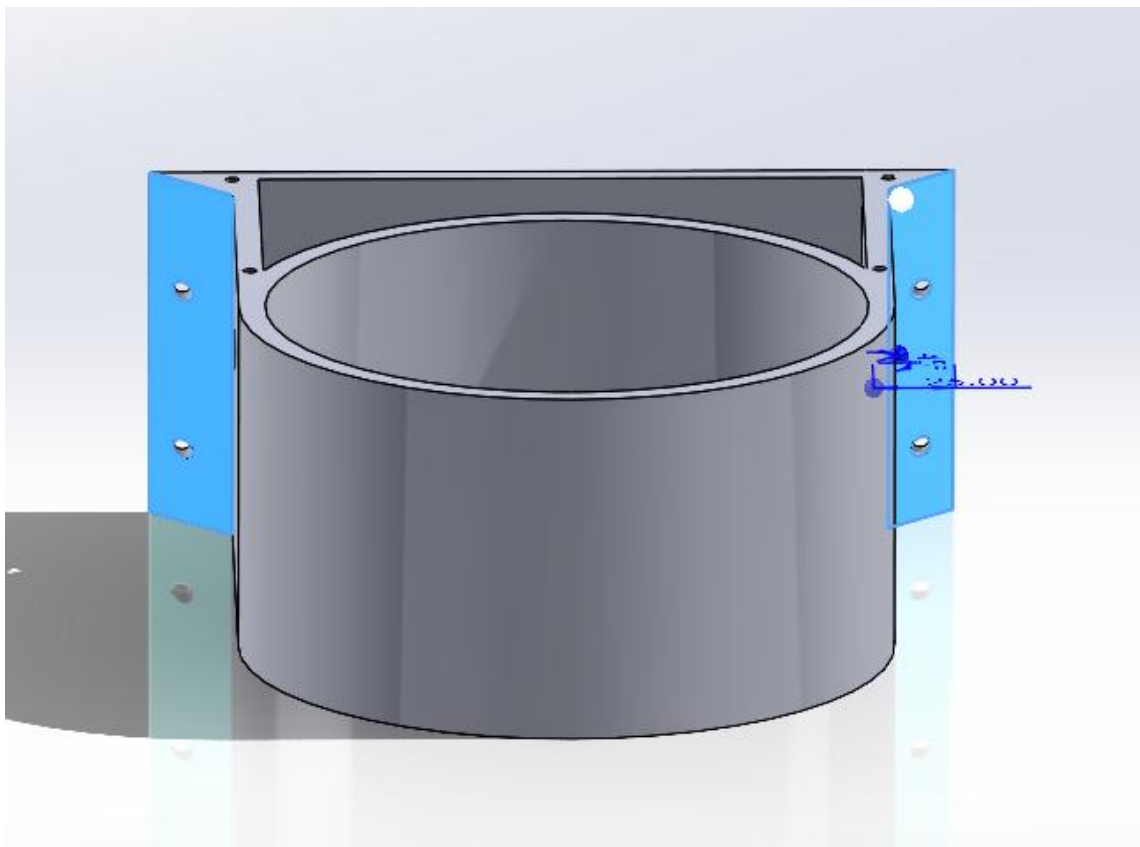


Imagen 20: Detalle Chaflan.

Los orificios pasantes están diseñados para alojar tornillos de métrica estándar con cabeza avellanada, lo que permite que queden al ras con la superficie de montaje y asegura una distribución homogénea de las tensiones. Además, estas zonas se han reforzado con espesores adicionales de material alrededor del perímetro, para evitar fisuras, deformaciones o daños localizados ante esfuerzos repetidos o cargas puntuales. Esta resistencia estructural es clave para evitar desplazamientos no

deseados, especialmente si el dispositivo sufre manipulación accidental por parte del animal o de terceros.



Imagen 21: Vista trasera del cilindro mostrando el chaflán y los taladros para anclaje.

Durante el desarrollo del modelo tridimensional en SolidWorks, se utilizaron herramientas de simulación por elementos finitos (FEA) para evaluar cómo responde el cuerpo cilíndrico frente a cargas reales. Se estudiaron situaciones como impactos accidentales, la presión que pueda ejercer el animal o intentos de manipulación indebida.

Estos análisis permitieron validar los espesores mínimos necesarios, optimizar la distribución del material y detectar las zonas que requieren refuerzo, asegurando así un comportamiento estructural óptimo sin afectar la funcionalidad ni el aspecto del dispositivo.

El sistema de fijación, junto con los resultados del análisis estructural, garantizan que el dispensador pueda instalarse de manera robusta y confiable en diferentes entornos, cumpliendo con los requisitos mecánicos y funcionales durante toda su vida útil.

4.6 Acoplamiento del motor y eje de rotación.

Uno de los componentes clave del sistema dispensador es el mecanismo que permite la rotación precisa y controlada del conjunto de aspas internas. Para conseguirlo, se ha incorporado un motor paso a paso que actúa directamente sobre un eje central de rotación, diseñado específicamente para asegurar una conexión firme, eficiente y sin holguras. Este eje es el enlace entre el motor y el tambor sectorizado, permitiendo realizar movimientos angulares exactos de 45° en cada activación.

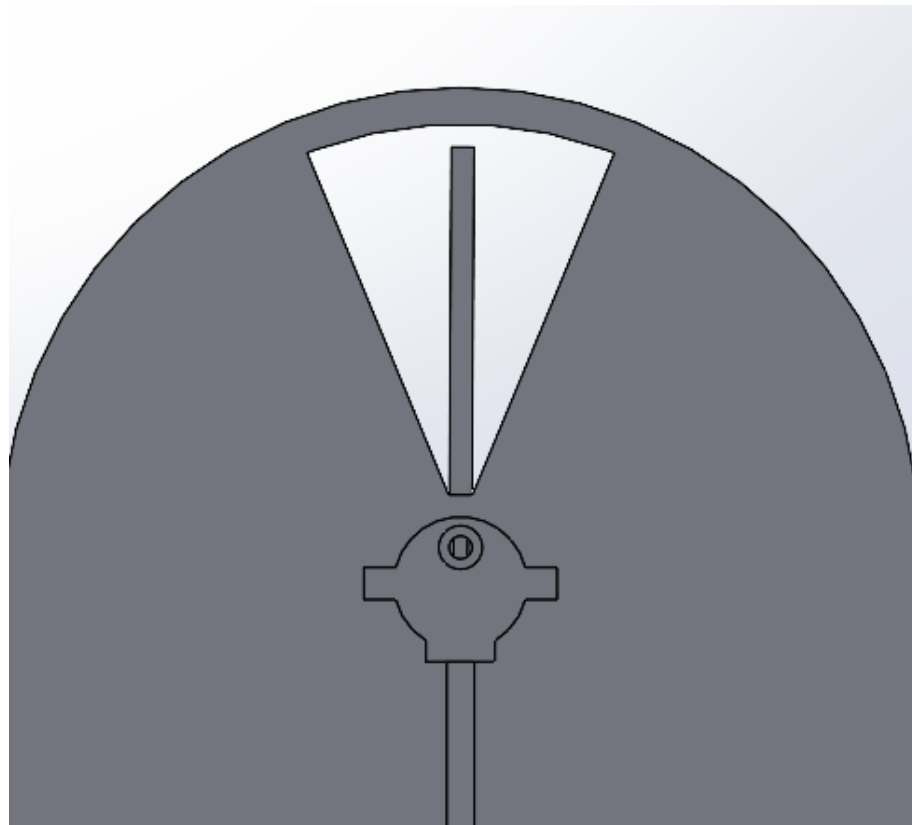


Imagen 22: Detalle eje del motor.

El extremo del eje cuenta con un alojamiento de tolerancia ajustada, adaptado a la sección del eje del motor, que normalmente es de tipo D, con una cara plana. Esta configuración geométrica permite una inserción sin juego, asegurando una transmisión directa del par motor y evitando deslizamientos o pérdidas de sincronización. Además, se ha diseñado un rebaje específico en el cuerpo del dispositivo que reproduce con precisión la geometría externa del motor en su zona de fijación. Esta solución de encaje estructural garantiza una inmovilización eficiente del motor, evitando desplazamientos indeseados y absorbiendo las fuerzas mecánicas que, de otro modo, recaerían sobre los tornillos de sujeción.

Para mejorar la organización interna del sistema y proteger los componentes eléctricos, se han incorporado guías integradas que alojan los cables de alimentación del motor dentro del cuerpo principal del dispositivo. Estas canalizaciones mantienen los cables ocultos, evitando que interfieran con el mecanismo rotativo o queden expuestos al exterior, lo que mejora tanto la seguridad como la estética del conjunto.

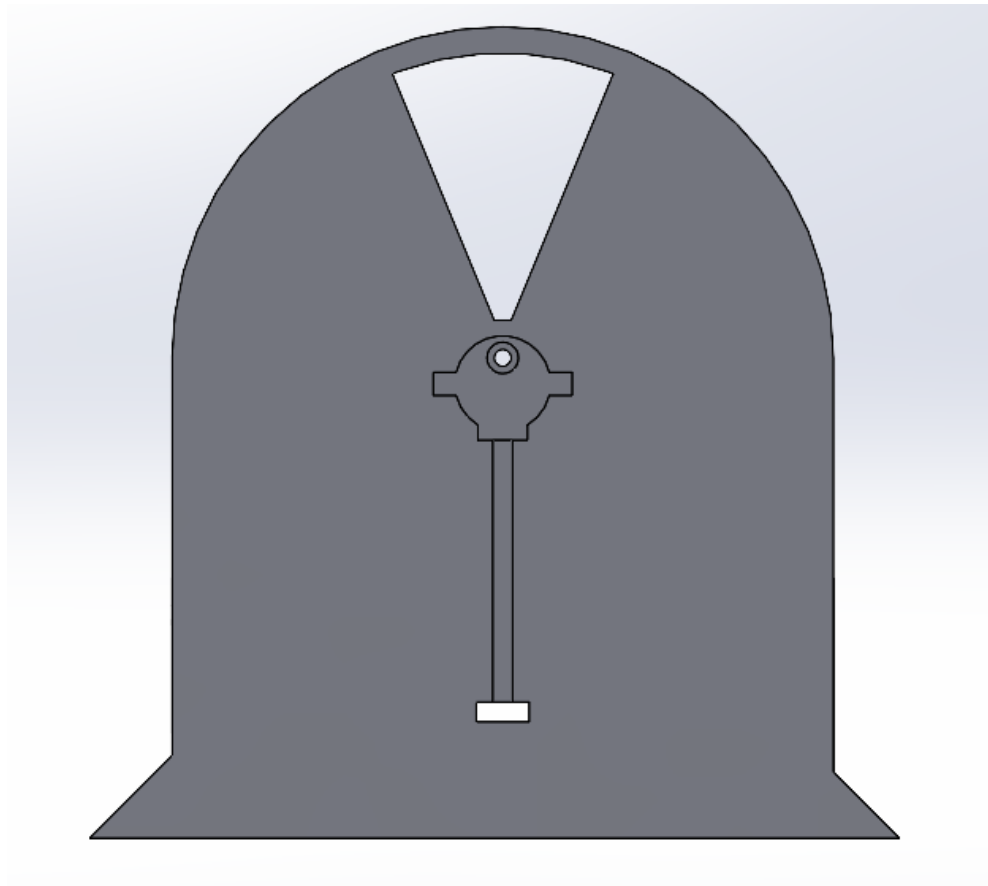


Imagen 23: Detalle canalizaciones.

Además, el paso de los cables desde el motor hacia el compartimento trasero donde se alojan los componentes electrónicos se ha resuelto mediante un orificio técnico, ubicado y dimensionado de manera específica. Este orificio conecta directamente el espacio del motor con el interior de la caja electrónica, permitiendo una instalación limpia y segura del cableado, sin necesidad de perforaciones adicionales ni soluciones improvisadas. Esta disposición facilita tanto el montaje como el mantenimiento, y a su vez refuerza la estanqueidad del sistema al concentrar el paso de los cables en un único punto diseñado para tal fin.

El eje de rotación se prolonga hasta la base del tambor, donde se apoya en una guía pasiva que soporta el peso axial del conjunto. Esta configuración libera al motor de esfuerzos verticales innecesarios, limitando su función exclusivamente a la transmisión de par, lo que mejora su eficiencia, precisión y vida útil. La unión entre el eje y el tambor ha sido concebida como una sola entidad geométrica, asegurando así una transmisión integral del movimiento y una alta repetibilidad en cada ciclo de dispensación.

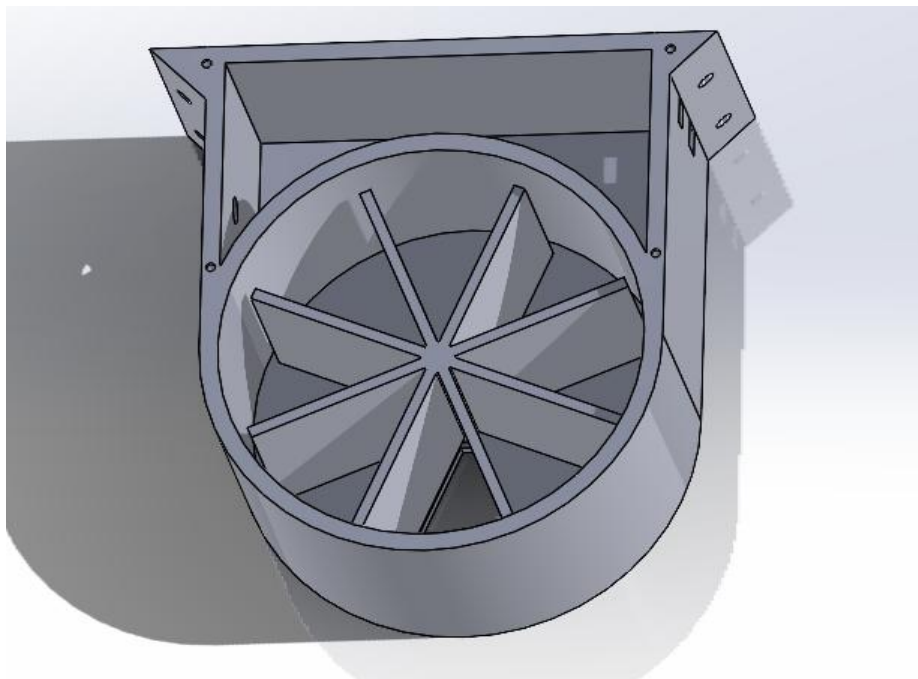


Imagen 24: Detalle posición ciclo de dispensación.

Uno de los componentes estructurales y funcionales más importantes del sistema dispensador es el conjunto de aspas internas, que delimitan los compartimentos radiales donde se almacena la medicación. Estas aspas forman parte integral del tambor rotativo y están distribuidas radialmente cada 45° , generando un total de ocho cavidades sectoriales. Siete de ellas se utilizan para almacenar las croquetas, mientras que una queda vacía para permitir la salida del contenido al alinearse con el orificio de dispensación.

Cada aspa tiene una geometría optimizada con paredes inclinadas hacia el fondo de cada compartimento. Esta inclinación no solo facilita que el comprimido se deslice por gravedad hasta el punto de caída, sino que también evita la acumulación de residuos en los vértices, lo cual es especialmente relevante en un entorno donde factores como la humedad o el desgaste por uso repetido pueden influir.

La forma y altura de las aspas han sido calculadas para mantener una separación efectiva entre compartimentos, evitando el paso accidental de dosis de una cavidad a otra durante la rotación.

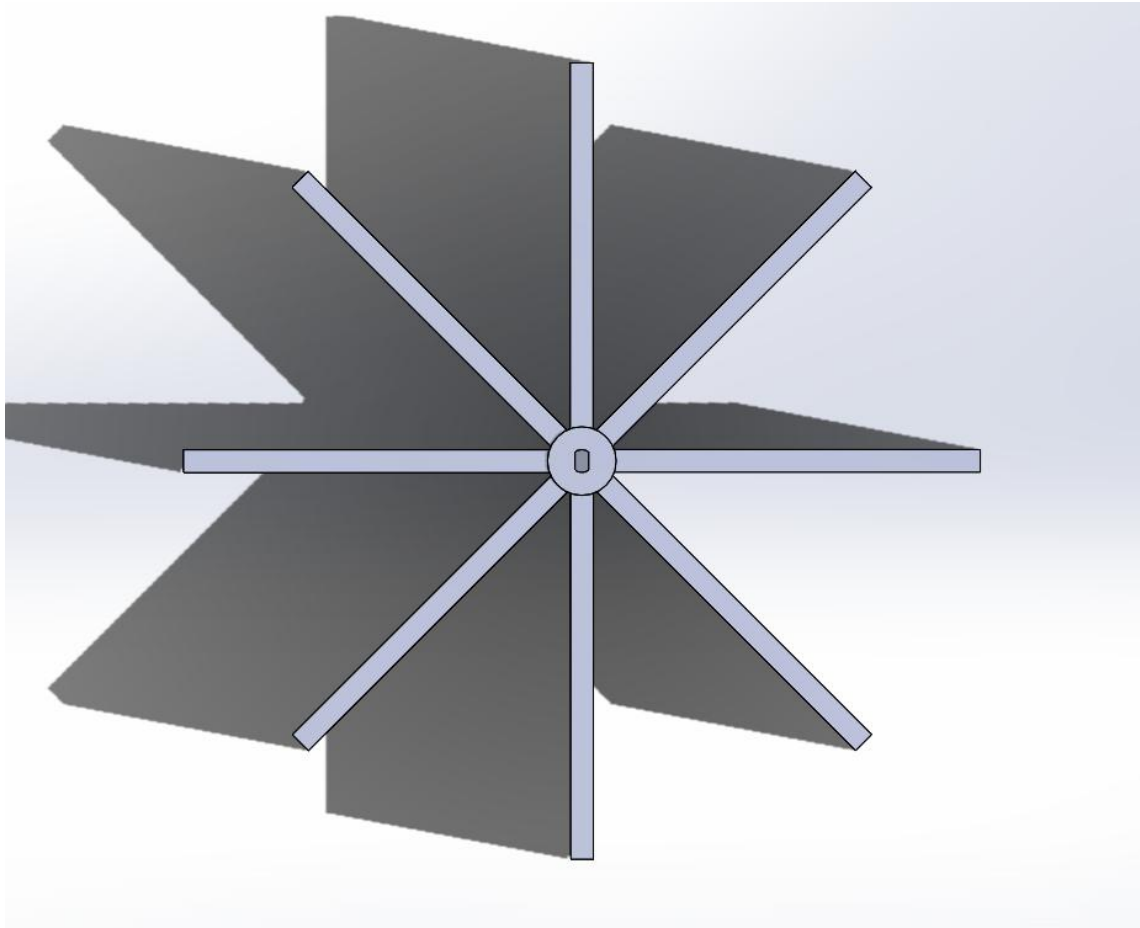


Imagen 25: Aspas.

Este conjunto de aspas está unido de forma solidaria a un eje central, que también forma parte del rotor y funciona como el elemento transmisor del movimiento desde el motor. El diseño del eje se ha desarrollado teniendo en cuenta directamente las dimensiones del eje de salida del motor paso a paso, que generalmente presenta un perfil tipo D. Para ello, se ha incorporado un encaje con tolerancia ajustada que se ajusta exactamente a dicha geometría, lo que facilita un montaje preciso, rápido y sin necesidad de adaptadores intermedios. Esta solución permite una transmisión directa del par sin pérdidas ni juego angular, asegurando que cada rotación se traduzca en un movimiento efectivo y alineado del tambor.

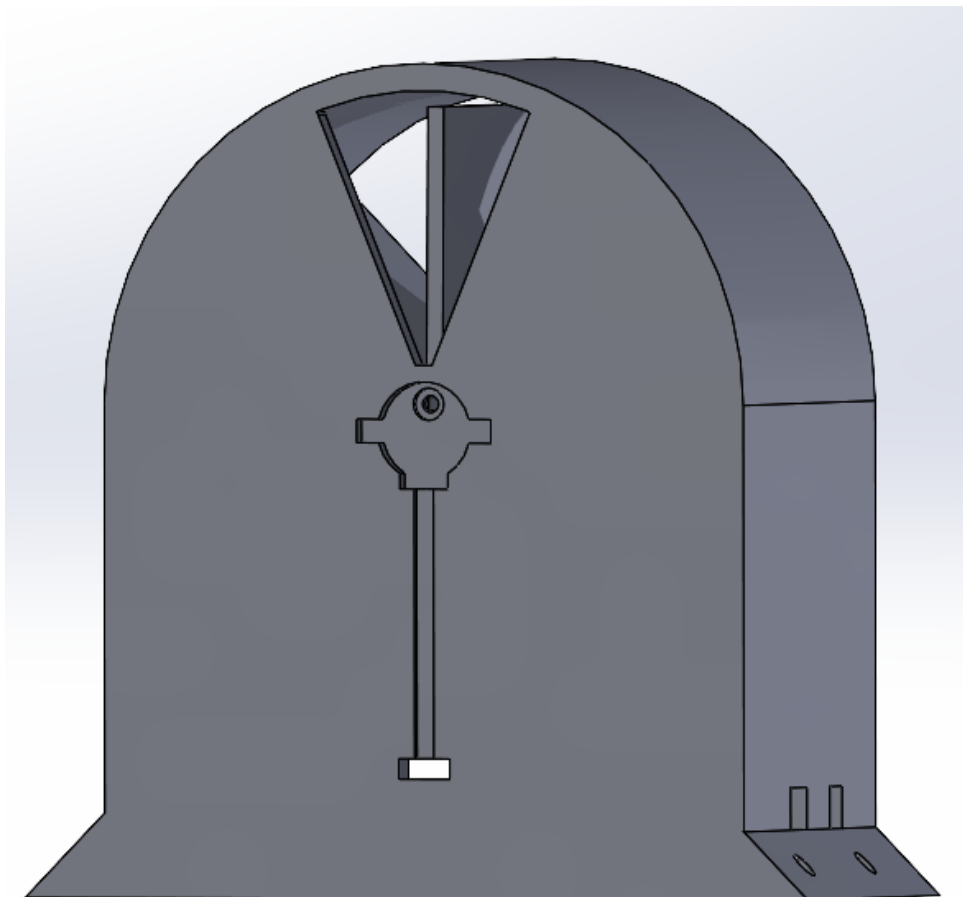


Imagen 26: Sección del acoplamiento entre el motor y el eje central de las aspas.

La integración del eje con el conjunto de aspas y la geometría interna del motor también se ha diseñado para optimizar el proceso de montaje. Se ha creado una base específica en el cuerpo del dispositivo que reproduce el contorno del motor, permitiendo que este encaje perfectamente sin necesidad de aplicar fuerza adicional ni depender exclusivamente de tornillos de sujeción.

Este diseño evita que el motor sufra esfuerzos transversales o desalineaciones que podrían afectar la precisión del sistema rotativo con el paso del tiempo. En conjunto, las aspas y el eje forman un mecanismo compacto, robusto y eficiente que permite un ciclo de dispensación diario completamente automatizado, preciso y confiable, sin requerir intervención manual durante una semana completa.



4.7 Justificación del diseño modular.

El sistema dispensador ha sido concebido desde las primeras fases de desarrollo bajo una filosofía de diseño modular. Esta elección no solo responde a criterios de fabricación y mantenimiento, sino que también aporta una gran flexibilidad para adaptar el dispositivo a diferentes especies animales, tamaños de medicación y requerimientos terapéuticos específicos.

La modularidad se ha aplicado tanto en el diseño geométrico de los compartimentos como en la estructura general del cilindro y el mecanismo de rotación, lo que permite escalar el sistema sin comprometer su funcionalidad ni su robustez.

El número de compartimentos puede aumentarse o reducirse según las necesidades del tratamiento. Por ejemplo, si es necesario administrar dosis más de una vez al día o cubrir un periodo más largo sin intervención humana, se puede incrementar el número de aspas internas y, por ende, el número de cavidades. Esto se realiza manteniendo la arquitectura radial, simplemente ajustando el ángulo entre compartimentos y aumentando el diámetro del cuerpo cilíndrico.

De igual forma, la profundidad y el volumen de cada cavidad pueden modificarse para almacenar comprimidos de mayor tamaño o croquetas de formatos especiales, adaptándose a los requisitos específicos del tratamiento.

Esta flexibilidad dimensional permite su uso en una amplia variedad de animales domésticos o en refugios, incluyendo especies tan diversas como perros de distintos tamaños, gatos, conejos e incluso aves.

El diseño está estructurado para que una misma plataforma pueda adaptarse a diferentes especies mediante simples modificaciones en los parámetros geométricos, sin alterar el mecanismo general de funcionamiento. Esto reduce significativamente los costes de rediseño y fabricación en series adaptadas, y facilita la personalización bajo demanda.

A continuación, se presenta una tabla con un ejemplo de correspondencia entre especie, diámetro estimado de la croqueta o comprimido, dosis terapéutica típica y tipo de compartimento requerido:



Tabla 1. Relación entre especie, tamaño de croqueta y dosis aproximada.

Especie	Diámetro estimado de croqueta	Dosis típica (mg)	Compartimento necesario
Perro grande	20 mm	400 mg	Estándar
Gato	15 mm	150 mg	Reducido
Conejo	10 mm	75 mg	Reducido
Ave mediana	8 mm	50 mg	Adaptado (micro)

Esta capacidad de adaptación no solo facilita el uso del dispositivo en entornos domésticos particulares, sino que también resulta especialmente valiosa en escenarios de mayor demanda, tales como clínicas veterinarias, centros de rehabilitación animal o refugios, donde es necesario administrar tratamientos diferenciados a múltiples individuos.

Gracias a su diseño modular, es posible desarrollar versiones específicas del dispositivo sin modificar la estructura del mecanismo principal, garantizando de este modo su fiabilidad, facilidad de mantenimiento y eficiencia en la producción.



4.8 Posibles mejoras futuras.

A partir de la experiencia adquirida durante el diseño y desarrollo del prototipo, se han identificado diversas líneas de mejora que podrían implementarse en futuras versiones del dispositivo con el objetivo de incrementar su funcionalidad, eficiencia y adaptabilidad a distintos contextos de uso.

Una de las propuestas más relevantes consiste en la incorporación de un botón manual de emergencia, ubicado en una zona accesible del dispositivo, que permita realizar una dispensación puntual sin necesidad de intervención electrónica programada. Esta funcionalidad resultaría especialmente útil en situaciones imprevistas o en casos que requieran la administración inmediata de una dosis adicional.

Otra mejora potencial contempla la integración de sensores ambientales, como detectores de humedad relativa o temperatura, que permitan monitorear las condiciones internas del sistema. Estos sensores contribuirían a preservar de manera óptima los medicamentos almacenados, evitando la degradación de los principios activos en ambientes adversos. Además, la incorporación de conectividad inalámbrica mediante tecnologías Bluetooth o WiFi permitiría establecer un sistema de aviso remoto que notifique al usuario sobre el estado del dispositivo, la necesidad de recarga de compartimentos o la correcta dispensación de la dosis, ofreciendo así una mayor tranquilidad y control en tratamientos prolongados o a distancia.

En lo referente al mantenimiento, se propone el rediseño de los compartimentos internos como módulos desmontables, lo que facilitaría significativamente las labores de limpieza, recarga y sustitución, especialmente en contextos con múltiples animales o en clínicas veterinarias. Esta característica modular mejoraría la higiene del sistema y reduciría los tiempos de parada necesarios para su acondicionamiento.

Estas posibles mejoras no solo amplían las capacidades del dispensador, sino que refuerzan su vocación como herramienta sanitaria robusta, versátil e inteligente. El dispositivo deja así de ser una solución puntual para convertirse en un sistema preventivo y clínico, adaptable tanto al entorno doméstico como al profesional, permitiendo optimizar la administración de tratamientos veterinarios con mayor seguridad, precisión y autonomía.



5. Diseño electrónico.

El diseño electrónico del dispensador rotativo de dosis medicadas constituye el núcleo funcional del sistema, ya que controla y automatiza el proceso de entrega precisa, segura y fiable de las dosis de medicamento. Este sistema gestiona tanto la activación del mecanismo rotativo que alinea y libera cada dosis, como los elementos auxiliares que facilitan la interacción con el usuario y la mascota, tales como señales acústicas y visuales de aviso.

Para alcanzar estos objetivos, el diseño se planteó con un enfoque modular y eficiente, priorizando la simplicidad en la implementación y la robustez en el funcionamiento. La selección de componentes se basó en criterios de compatibilidad, bajo consumo energético, precisión en el control y disponibilidad, lo cual facilita la replicabilidad y mejora del prototipo en etapas posteriores.

En esta sección se detallan los distintos elementos electrónicos que conforman el sistema, explicando la función específica de cada uno y justificando su selección técnica. Asimismo, se describe el montaje físico del sistema, haciendo especial énfasis en la organización del cableado y la integración con la estructura mecánica, prestando atención a la protección de los componentes y a la accesibilidad para su mantenimiento.

Además, se presenta la lógica de funcionamiento programada en la microcontroladora, que incluye la temporización para la activación del motor paso a paso, el control del zumbador y del LED indicador, así como las acciones asociadas a la gestión manual y automática del dispositivo.

El entorno de simulación utilizado para validar el diseño electrónico es Tinkercad, que permite realizar pruebas virtuales tanto del código como del montaje electrónico antes de la fabricación física, reduciendo posibles errores y optimizando el proceso de desarrollo.

Se plantean posibles mejoras futuras para incrementar la funcionalidad, eficiencia y adaptabilidad del diseño electrónico a diferentes escenarios de uso, tales como la incorporación de sensores ambientales, comunicación inalámbrica para avisos remotos y mecanismos de emergencia para dispensación manual.

Este enfoque integral asegura que el diseño electrónico no solo cumpla con las exigencias básicas del proyecto, sino que también posea la flexibilidad necesaria para adaptarse a futuros avances tecnológicos y requerimientos clínicos.

5.1 Componentes utilizados y justificación de su elección.

A continuación, se detallan los componentes electrónicos seleccionados para el prototipo, acompañados de una explicación sobre su funcionalidad específica dentro del sistema y la razón por la cual fueron elegidos.

5.1.1 Arduino Nano.

La microcontroladora Arduino Nano, basada en el chip ATmega328P, ha sido seleccionada como el cerebro del sistema por una serie de ventajas técnicas que se alinean perfectamente con los requerimientos del proyecto. Su formato compacto (tan solo 45 mm × 18 mm) permite una integración eficiente dentro del reducido espacio del compartimento de electrónica del dispositivo, sin comprometer la capacidad de conexión ni la ventilación del sistema. Esta característica resulta especialmente útil cuando se diseñan sistemas embebidos en estructuras físicas limitadas, como es el caso del dispensador rotativo.

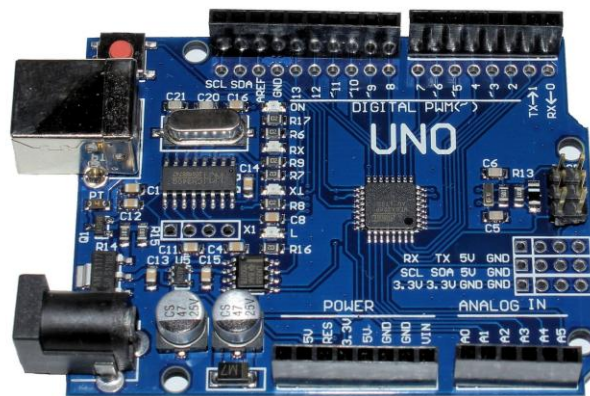


Imagen 27: Placa Arduino UNO [14].

Desde el punto de vista funcional, el Arduino Nano dispone de 14 pines digitales (de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM) y 8 entradas analógicas, más que suficientes para gestionar tanto el control del motor paso a paso como los periféricos del sistema (zumbador, LED, pulsador, etc.). Esta versatilidad permite una programación eficiente y organizada, favoreciendo la escalabilidad del proyecto si se desea incluir nuevos sensores o actuadores en futuras versiones.

Otro factor clave en su elección es su bajo consumo energético, lo que permite alimentar el sistema mediante una batería portátil sin comprometer su autonomía



durante varios días, aspecto fundamental en un dispositivo diseñado para funcionar de forma autónoma, incluso en ausencia del propietario.

Desde el punto de vista del desarrollo, la placa presenta una alta compatibilidad con entornos de simulación virtual como Tinkercad, donde se ha realizado la fase inicial de validación del circuito y de la lógica de programación. Esta ventaja ha permitido acelerar el proceso de diseño, depuración de errores y pruebas sin necesidad de recurrir continuamente a hardware físico.

Finalmente, cabe destacar que la comunidad global de usuarios de Arduino Nano es extensa y activa, lo cual garantiza el acceso a una gran cantidad de documentación, bibliotecas y ejemplos prácticos. Esta disponibilidad de recursos facilita tanto el aprendizaje como la resolución de problemas técnicos durante el desarrollo del proyecto, reduciendo los tiempos de implementación y mejorando la robustez del sistema final.

En conjunto, estas características convierten al Arduino Nano en una opción idónea para sistemas automáticos de dispensación médica como el presente dispositivo, combinando eficiencia, fiabilidad, accesibilidad y bajo coste.

5.1.2 Motor paso a paso 28BYJ-48.

Para la rotación controlada del mecanismo dispensador, se ha seleccionado el motor paso a paso 28BYJ-48, un componente ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren movimientos angulares precisos y repetibles. Su funcionamiento por pasos discretos con un ángulo de paso aproximado de 5.625° por paso y una relación de reducción interna de 1:64 permite dividir una vuelta completa en 512 pasos, lo cual proporciona un control de posición extremadamente preciso, ideal para sistemas que deben realizar giros exactos, como en este caso, donde se requiere una rotación de 45° por activación para alinear los compartimentos del cilindro.

Este motor, además de su alta resolución angular, presenta un par suficiente para mover el conjunto rotativo del dispositivo sin necesidad de reductores externos adicionales. Gracias a su diseño interno con caja de engranajes planetarios, el motor es capaz de ejercer fuerza adecuada sobre el eje incluso en condiciones de ligera resistencia, como puede ser la fricción entre componentes o el peso del medicamento.

Desde el punto de vista de integración, el 28BYJ-48 se destaca por su bajo consumo eléctrico y compatibilidad directa con controladores estándar como el ULN2003, lo que simplifica tanto el cableado como la programación del sistema. Asimismo, dispone de

un conector estándar de cinco hilos que facilita su montaje y desmontaje durante la fase de prototipado o mantenimiento.

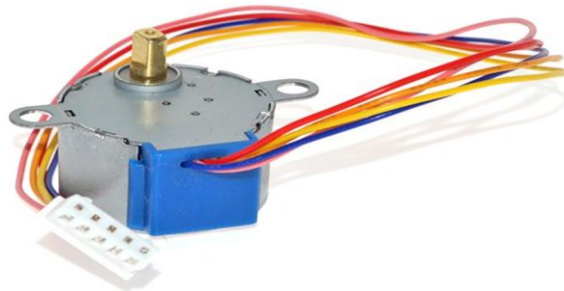


Imagen 28: Motor paso a paso 28BYJ-48 [14].

En cuanto a su acoplamiento mecánico, el motor ha sido unido directamente al eje central que soporta las aspas del mecanismo dispensador. Este eje ha sido diseñado específicamente para adaptarse a la geometría del eje del motor (con forma plana tipo “D”), garantizando un acoplamiento firme y sin holguras, lo que evita pérdidas de movimiento por deslizamiento o vibraciones.

Esta adaptación precisa no solo mejora la eficiencia de la transmisión de movimiento, sino que también facilita el montaje final del sistema, al eliminar la necesidad de sistemas de fijación complejos.

La elección del motor 28BYJ-48, por tanto, responde a una combinación equilibrada de precisión, fiabilidad, bajo coste, facilidad de integración y rendimiento mecánico, lo que lo convierte en una solución adecuada para un dispositivo de dispensación rotativa como el propuesto en este proyecto.

El ULN2003 ha sido seleccionado como módulo de interfaz entre la placa Arduino Nano y el motor paso a paso 28BYJ-48, desempeñando una función clave en la gestión de potencia del sistema. Este módulo integra un conjunto de transistores Darlington configurados como amplificadores de corriente, capaces de manejar cargas inductivas como motores, relés o solenoides que superan los niveles de corriente que la placa Arduino puede suministrar de forma directa.

5.1.3 Driver ULN2003.

En este caso específico, el motor 28BYJ-48 requiere una corriente de operación superior a la que puede proporcionar el microcontrolador, por lo que el uso del ULN2003 es imprescindible para evitar sobrecargas o daños en los pines de salida digitales del Arduino. El driver actúa como puente entre las señales de control de baja potencia provenientes del Arduino y las demandas energéticas del motor, asegurando una operación segura y estable.



Imagen 29: Driver ULN2003 [14].

Una de las ventajas funcionales de este módulo es su diseño compacto y específico para el motor 28BYJ-48, ya que incluye un conector hembra de cinco pines que se corresponde exactamente con el conector del motor, eliminando la necesidad de soldaduras o adaptadores. Esta característica facilita la conexión rápida, fiable y reversible entre ambos componentes, algo especialmente útil en fase de prototipado, prueba o mantenimiento.

Adicionalmente, el módulo ULN2003 incorpora diodos de protección contra tensiones inversas (flyback), que protegen tanto al driver como al microcontrolador ante los picos de tensión que pueden generarse durante la conmutación de cargas inductivas. Este aspecto incrementa la durabilidad y robustez del sistema electrónico.

Como elemento auxiliar, el driver también incluye una fila de LED indicadores asociados a cada una de las salidas hacia el motor. Estos LED permiten verificar visualmente el funcionamiento del sistema durante la simulación o las pruebas físicas, ayudando al diagnóstico de posibles fallos de conexión, programación o funcionamiento del motor.

5.1.4 Zumbador Piezoeléctrico (LOW)

El zumbador piezoeléctrico integrado en el sistema cumple una función clave dentro del proceso de condicionamiento del animal. Su activación se produce exactamente sesenta segundos antes de la dispensación del comprimido, lo que permite alertar al animal de forma anticipada y fomentar que se acerque al dispositivo de manera voluntaria. Esta función resulta especialmente útil en tratamientos crónicos, donde la regularidad en la ingesta del medicamento es esencial, y donde no siempre es posible la presencia del cuidador.

Se ha utilizado un modelo de zumbador piezoeléctrico activo de tres terminales, el cual incluye internamente un oscilador que le permite generar sonido sin necesidad de una señal modulada externamente. Este componente está diseñado para activarse mediante una señal de nivel bajo (LOW), lo que significa que emite sonido cuando su pin de control se lleva a un estado de bajo voltaje. Esta característica facilita su integración directa con la placa Arduino, ya que permite un control simple y fiable sin requerir electrónica adicional.

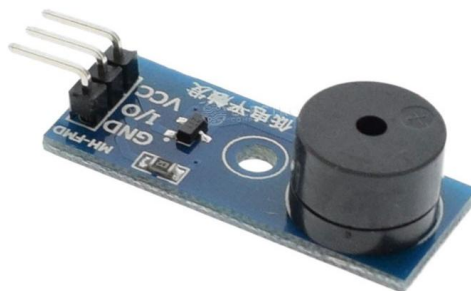


Imagen 30: Zumbador Piezoeléctrico (LOW) [14].

Además de su facilidad de uso, el zumbador presenta un consumo energético muy reducido, lo que resulta especialmente beneficioso en sistemas autónomos alimentados por batería. Su pequeño tamaño y forma compacta permiten una instalación sencilla dentro del compartimento electrónico sin interferir con el resto de los componentes. Al no tener partes móviles expuestas, también ofrece una excelente resistencia a entornos con polvo o humedad, aumentando la durabilidad del dispositivo.

El uso del zumbador como elemento de aviso acústico representa una solución no intrusiva, pero efectiva, para la interacción entre el sistema y el animal. Su nivel de sonoridad es suficiente para ser percibido por perros, gatos e incluso animales más

sensibles, sin resultar molesto ni generar rechazo. Gracias a su activación previa a la dispensación, el zumbador cumple un papel esencial en la secuencia de funcionamiento del sistema, mejorando la eficacia del mecanismo y asegurando que el medicamento sea ingerido en el momento adecuado.

5.1.5 Fuente de alimentación. (220V a 5V)

La fuente de alimentación del sistema ha sido diseñada para garantizar un funcionamiento estable, continuo y seguro del conjunto electrónico. Para ello, se ha seleccionado un transformador con salida de 5 V y conexión directa a red eléctrica doméstica de 220 V. Esta elección responde a la necesidad de proporcionar una tensión constante y adecuada a los requerimientos de la placa Arduino Nano y el resto de los componentes del sistema, sin depender de baterías que podrían agotarse o requerir mantenimiento periódico.

El transformador empleado actúa como adaptador de corriente alterna a continua (AC/DC), reduciendo los 220 V de la red eléctrica a un voltaje de salida estabilizado de 5 V en corriente continua, apto para alimentar directamente tanto la placa controladora como el controlador del motor y los periféricos asociados (zumbador, LED, pulsador, etc.). Esta solución ofrece la ventaja de una alimentación fiable y sostenida a lo largo del tiempo, lo que resulta especialmente importante tratándose de un dispositivo de uso diario con funciones críticas para la salud del animal.



Imagen 31: Transformador 220V-5V [14].

Otra razón fundamental para optar por un transformador de este tipo es su facilidad de integración en el diseño del compartimento trasero. Al ser un componente compacto y común en sistemas electrónicos de bajo voltaje, puede ser alojado sin



dificultad dentro del espacio habilitado para la electrónica, permitiendo una instalación limpia y protegida.

El uso de un transformador también minimiza los riesgos eléctricos, ya que la tensión operativa del sistema queda limitada a 5 V, eliminando la posibilidad de descargas peligrosas en caso de manipulación. Además, al no depender de recargas manuales, se asegura el funcionamiento continuo del dispensador incluso en aplicaciones prolongadas o en situaciones donde el usuario no puede supervisar el dispositivo a diario.

5.2 Montaje del sistema y esquema de conexión.

El montaje del sistema electrónico se ha llevado a cabo de forma virtual utilizando la plataforma *Tinkercad*, una herramienta de simulación electrónica basada en navegador que permite ensayar configuraciones de hardware y validar el funcionamiento del código en tiempo real. Esta metodología resulta especialmente útil en fases de prototipado, ya que permite detectar errores lógicos y estructurales sin necesidad de recurrir a componentes físicos desde las primeras etapas del diseño.

El motor paso a paso modelo 28BYJ-48 se conecta al *driver ULN2003* a través de su conector de cinco pines, especialmente diseñado para garantizar una conexión rápida y segura. Este módulo driver recibe las señales de control desde los pines digitales D8, D9, D10 y D11 de la placa Arduino Nano, y se alimenta desde la misma fuente del sistema, compartida con la microcontroladora.

El *zumbador piezoeléctrico activo* se conecta a uno de los pines digitales configurado como salida, el cual emite un nivel bajo (LOW) cuando se desea activarlo, ya que este modelo opera por inversión de lógica (activo en bajo). La selección del pin depende de la implementación final del código, aunque habitualmente se utiliza un pin libre entre D2 y D7.

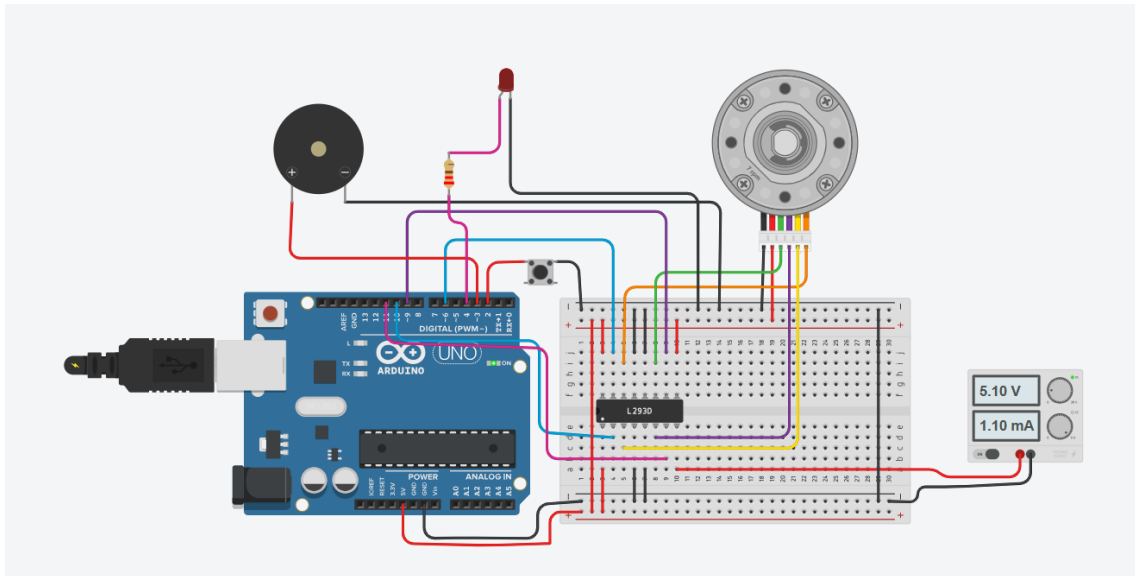


Imagen 32: Esquemático de conexión completo simulado Tinkercad.

El *LED indicador* se instala en paralelo al zumbador, o bien en un pin separado si se desea un control independiente, utilizando una resistencia limitadora de corriente para proteger el componente. Su activación simultánea al zumbador refuerza la señal de advertencia previa a la dispensación de la croqueta.

El *pulsador de reset* está conectado entre un pin digital configurado como entrada y tierra (GND), incluyendo una resistencia *pull-up* interna activada por software. Esta configuración permite detectar cuando el usuario pulsa el botón (estado bajo), reiniciando así las condiciones iniciales del sistema o interrumpiendo una rutina específica.

La *fuentes de alimentación* se conecta a través del pin VIN de la placa Arduino Nano, que admite voltajes superiores a 5 V y los regula internamente mediante su regulador lineal. En este caso, se ha optado por una fuente externa de 5 V estabilizados, conectada directamente al pin 5V de la placa, lo que elimina la necesidad de regulación adicional y mejora la eficiencia energética del sistema. Toda la electrónica se encuentra alojada en el compartimento trasero del diseño, debidamente aislada del entorno exterior.

Este esquema de conexión garantiza un funcionamiento integrado, fiable y escalable, preparado para ser migrado fácilmente a una versión física cuando el prototipo esté completamente validado.



5.3 Función de cada componente en conjunto.

En este apartado se describe la función que desempeña cada uno de los componentes electrónicos del sistema, así como la forma en la que interactúan entre sí para lograr el funcionamiento automatizado del dispensador. La descripción se organiza por bloques funcionales, facilitando la comprensión del proceso completo y su correspondencia con el esquema electrónico general (véase Imagen 32).

5.3.1 Arduino Nano como núcleo de control.

La placa *Arduino Nano*, basada en el microcontrolador ATmega328P, constituye el centro lógico del sistema. Su función principal es gestionar la temporización y coordinar la activación de los distintos dispositivos conectados. Para ello, se utiliza la función *millis*, que permite calcular el tiempo transcurrido desde el encendido del sistema sin necesidad de un reloj en tiempo real (RTC).

Cuando *millis* alcanza los 86 400 000 milisegundos (equivalentes a 24 horas), se inicia una rutina que activa primero el sistema de advertencia y, posteriormente, el motor paso a paso para dispensar la dosis. La placa está alimentada a 5 V y utiliza los pines digitales D2 a D7 para controlar los periféricos del sistema: el zumbador, el LED (opcional) y el motor a través del driver ULN2003.

5.3.2 Señal de advertencia previa: buzzer y LED.

Un minuto antes de la rotación del mecanismo, el Arduino activa una señal de advertencia sonora. Este sistema cumple la función de alertar al animal o al cuidador sobre la inminente dispensación del medicamento. Se compone de:

- *Zumbador piezoeléctrico activo*, conectado al pin D6, activado mediante señal a nivel bajo.
- *LED indicador* (opcional), conectado al pin D3, que se enciende de forma simultánea.

Ambos permanecen activos durante 60 segundos. El buzzer genera un tono continuo que resulta efectivo como llamada de atención, mientras que el LED actúa como refuerzo visual. Esta etapa se ilustra en la Imagen 32.



5.3.3 Driver ULN2003 y amplificación de señal.

El *ULN2003* actúa como interfaz entre el Arduino y el motor paso a paso. Dado que la corriente requerida por el motor excede la capacidad de los pines digitales del microcontrolador, el driver emplea un conjunto de transistores Darlington para amplificar la señal.

Las entradas IN1 a IN4 del ULN2003 reciben las señales desde los pines D4, D5, D6 y D7 del Arduino. Estas señales se conmutan internamente y permiten alimentar directamente las bobinas del motor a través de las salidas OUT1 a OUT4. Este proceso garantiza una rotación precisa y controlada.

5.3.4 Motor paso a paso 28BYJ-48 y mecanismo de giro.

El *motor paso a paso 28BYJ-48*, de tipo unipolar y equipado con una caja reductora interna, es el encargado de efectuar el movimiento rotacional del tambor dispensador. Cada cavidad del tambor se encuentra separada por un ángulo de 45°, por lo que el motor debe girar ese mismo ángulo para alinear la siguiente dosis.

El Arduino ejecuta una secuencia de 256 pasos, distribuidos a través del ULN2003, para generar el giro deseado. Este movimiento resulta en la alineación de la cavidad activa con el orificio de salida, permitiendo que la croqueta medicada caiga por gravedad. El acoplamiento entre el eje del motor y el tambor se observa en la Figura 13.

5.3.5 Pulsador de reinicio.

El sistema incluye un pulsador conectado entre el pin *RST* y *GND* de la placa Arduino. Su función es reiniciar manualmente el microcontrolador, lo cual resulta útil para sincronizar el inicio del ciclo de 24 horas con una hora específica del día.

Al presionar el pulsador, el contador interno de milis se reinicia, comenzando desde cero un nuevo ciclo completo de funcionamiento.

5.3.6 Alimentación y conexiones comunes.

Todos los componentes del sistema funcionan a una tensión nominal de 5 V DC. La alimentación puede provenir del puerto USB durante las pruebas o de una fuente externa estabilizada conectada al pin 5V de la placa.



La masa (*GND*) es común a todos los elementos del circuito, lo que garantiza una referencia eléctrica coherente. Esta distribución de alimentación y señales se representa detalladamente en el esquema electrónico general (Imagen 32).

5.3.7 Proceso completo: secuencia operativa.

El sistema automatizado sigue la siguiente secuencia lógica:

1. El Arduino comienza a contar el tiempo desde su encendido o reinicio.
2. Al alcanzar los 86 340 000 milisegundos (23 horas y 59 minutos), activa la señal de advertencia durante 60 segundos.
3. Finalizado el tiempo de advertencia, se activa el motor paso a paso mediante señales digitales enviadas al driver.
4. El tambor gira 45°, alineando el siguiente compartimento con el orificio de salida.
5. El sistema entra nuevamente en estado de espera hasta completar el siguiente ciclo de 24 horas.



5.4 Lógica de funcionamiento (pseudocódigo).

// Definición de pines

const int IN1 = 4;

const int IN2 = 5;

const int IN3 = 7;

const int IN4 = 8;

const int PIN_BUZZER = 6; // Buzzer activo en LOW

const int PIN_LED = 3; // LED indicador (opcional)

// Variables de temporización

const unsigned long TIEMPO_TOTAL = 86400000UL; // 24 horas

const unsigned long TIEMPO_ADVERTENCIA = 60000UL; // 1 minuto

unsigned long tiempoInicio = 0;

unsigned long tiempoActual = 0;

// Secuencia de pasos para el motor

const int SECUENCIA[8][4] = {

{1, 0, 0, 0},

{1, 1, 0, 0},

{0, 1, 0, 0},

{0, 1, 1, 0},

{0, 0, 1, 0},

{0, 0, 1, 1},

{0, 0, 0, 1},

{1, 0, 0, 1}

void setup() {



```
// Configurar pines del motor
pinMode(IN1, OUTPUT);
pinMode(IN2, OUTPUT);
pinMode(IN3, OUTPUT);
pinMode(IN4, OUTPUT);

// Configurar pines del buzzer y LED
pinMode(PIN_BUZZER, OUTPUT);
pinMode(PIN_LED, OUTPUT);

// Apagar buzzer y LED al inicio
digitalWrite(PIN_BUZZER, HIGH); // Buzzer apagado (activo en LOW)
digitalWrite(PIN_LED, LOW); // LED apagado

// Guardar momento de arranque
tiempoInicio = millis();

void loop() {
    tiempoActual = millis();
}

// Activar advertencia un minuto antes
if (tiempoActual - tiempoInicio >= TIEMPO_TOTAL - TIEMPO_ADVERTENCIA &&
    tiempoActual - tiempoInicio < TIEMPO_TOTAL) {
    digitalWrite(PIN_BUZZER, LOW); // Encender buzzer
    digitalWrite(PIN_LED, HIGH); // Encender LED
} else {
    digitalWrite(PIN_BUZZER, HIGH); // Apagar buzzer
    digitalWrite(PIN_LED, LOW); // Apagar LED
```



```
}  
  
// Ejecutar rotación tras 24h  
  
if (tiempoActual - tiempoInicio >= TIEMPO_TOTAL) {  
    rotarMotor();          // Ejecutar rotación  
    tiempoInicio = millis(); // Reiniciar temporizador  
}  
  
// Función para girar 45 grados el motor paso a paso (256 pasos)  
  
void rotarMotor() {  
    const int NUM_PASOS = 256;  
    for (int i = 0; i < NUM_PASOS; i++) {  
        int paso = i % 8;  
        digitalWrite(IN1, SECUENCIA[paso][0]);  
        digitalWrite(IN2, SECUENCIA[paso][1]);  
        digitalWrite(IN3, SECUENCIA[paso][2]);  
        digitalWrite(IN4, SECUENCIA[paso][3]);  
        delay(3); // Velocidad del motor (ajustable)  
    }  
  
    // Apagar todas las bobinas al finalizar  
    digitalWrite(IN1, LOW);  
    digitalWrite(IN2, LOW);  
    digitalWrite(IN3, LOW);  
    digitalWrite(IN4, LOW);    }
```

Este pseudocódigo ha sido implementado mediante el lenguaje de programación de Arduino, utilizando la función millis para contar el tiempo en lugar de un reloj RTC, debido a la limitación de disponibilidad de componentes en Tinkercad.



5.5 Comportamiento general del sistema.

Una vez cargado el código en la placa Arduino Nano, el sistema entra automáticamente en un estado de espera inicial. Desde ese momento, comienza el conteo interno mediante la función `millis`, que actúa como temporizador sin necesidad de hardware adicional. Este método permite que el sistema opere de manera continua, incluso tras interrupciones breves en la alimentación, siempre que se mantenga la sesión activa.

Durante el primer ciclo de 24 horas, el sistema permanece inactivo, salvo por la vigilancia temporal que realiza el microcontrolador. Al alcanzar los 86 340 000 milisegundos (equivalente a 23 horas y 59 minutos), se activa una señal de advertencia que incluye dos elementos: un zumbador piezoeléctrico (activo en nivel lógico bajo) y un LED indicador. Ambos componentes permanecen activos durante exactamente 60 segundos, lo que permite que el animal se acerque al dispensador, anticipando la entrega del medicamento.

Transcurrido ese minuto, el Arduino genera una secuencia de pulsos hacia el driver ULN2003, el cual amplifica la señal y la transmite al motor paso a paso 28BYJ-48. Este realiza un giro preciso de 256 pasos, equivalente a un desplazamiento angular de 45°, moviendo así el tambor del dispensador hasta alinear el siguiente compartimento con el orificio de salida. De este modo, se libera una única croqueta medicada por gravedad, asegurando la dosificación controlada.

Esta secuencia se repite diariamente, sin intervención humana, siempre que el sistema permanezca alimentado. En caso de querer reiniciar manualmente el temporizador — por ejemplo, para ajustar la hora de dispensación— el usuario puede pulsar el botón de reinicio conectado entre el pin RST y GND del Arduino. Esto restablece el contador interno `millis` y comienza un nuevo ciclo completo de 24 horas.

El correcto funcionamiento del sistema ha sido verificado en la plataforma de simulación *Tinkercad*, donde se ha comprobado la interacción coordinada entre el LED, el zumbador y el motor paso a paso. La Imagen 33 muestra una captura de dicha simulación en plena operación, donde puede observarse claramente la activación de los elementos visuales y acústicos, así como el giro del motor controlado digitalmente.

Esta arquitectura ofrece una solución de alta fiabilidad con un coste de implementación muy bajo, lo que la hace especialmente adecuada para entornos domésticos, refugios o instalaciones rurales, donde no siempre es posible contar con personal cualificado en electrónica o programación. La simplicidad del sistema no

compromete su funcionalidad, permitiendo una administración puntual de medicamentos de forma segura y automatizada.

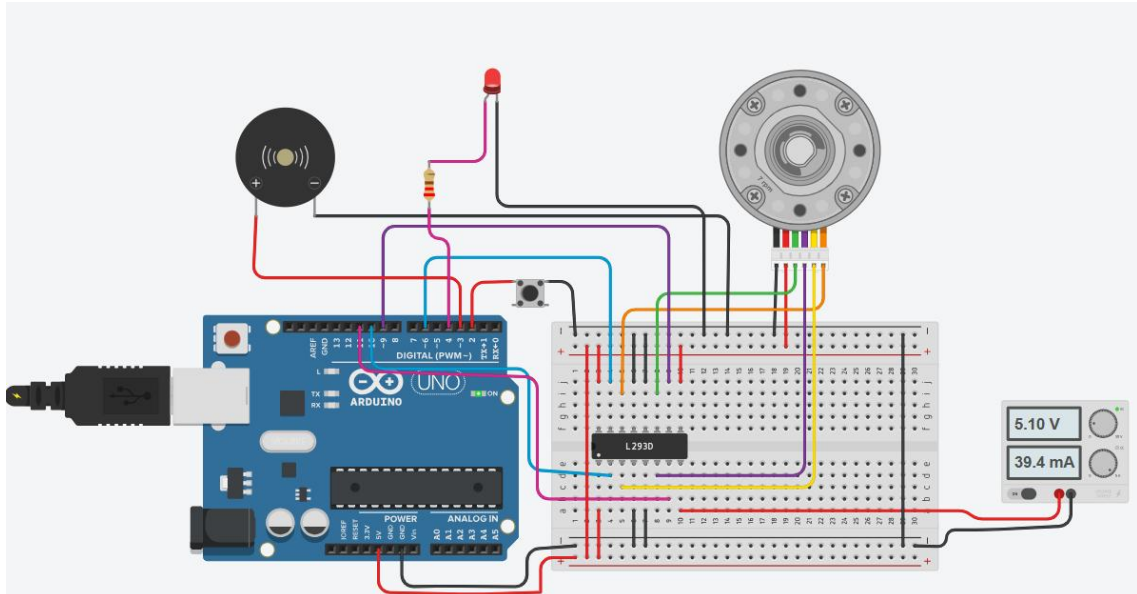


Imagen 33: Simulación del sistema funcionando en Tinkercad, con el motor girando y el zumbador activado [6].

5.6 Prototipos futuros e implementación de cámaras con conectividad WiFi.

Como parte del desarrollo evolutivo del sistema, se contempla una versión mejorada del dispensador automático que integre una cámara con conectividad WiFi. Esta innovación tiene como objetivo principal la verificación visual remota de que la croqueta ha sido efectivamente dispensada y consumida por el animal, lo cual resulta de gran importancia en tratamientos donde la continuidad y precisión en la administración del medicamento son cruciales.

Para este propósito, se propone la integración de una cámara tipo ESP32-CAM. Este módulo combina un sensor de imagen con un microcontrolador y conectividad inalámbrica, lo que permite capturar imágenes o transmitir video en tiempo real sin necesidad de módulos adicionales. Tras cada activación del sistema, la cámara podría enviar automáticamente una imagen o un pequeño fragmento de video a una aplicación móvil o servidor en la nube, permitiendo a los cuidadores verificar el estado de la administración.

Además, este tipo de cámaras permite una configuración versátil: pueden ser controladas por un microcontrolador secundario o integrarse dentro del mismo ciclo de trabajo del Arduino principal, siempre que se respeten las limitaciones de procesamiento y memoria. También se podrían incluir funciones básicas de visión artificial o detección de movimiento para confirmar la presencia del animal frente al dispensador.



Imagen 34: Simulación Prototipo Futuro [Inteligencia Artificial].

La implementación de esta mejora no solo elevaría la funcionalidad del dispositivo, sino que también lo posicionaría como una herramienta de asistencia conectada. Sería especialmente útil en entornos donde el cuidador se encuentra lejos de la propiedad o en casos de usuarios con movilidad reducida. Del mismo modo, permitiría a veterinarios o responsables de albergues llevar un control del cumplimiento terapéutico de forma no invasiva y sin desplazamientos físicos.

Este tipo de evolución tecnológica busca adaptar el sistema a las exigencias actuales del cuidado responsable, la automatización doméstica y el bienestar animal, contribuyendo a una gestión más segura y eficiente del tratamiento médico a distancia.



5.7 Prototipos futuros y mejoras propuestas.

El diseño actual del dispensador cumple su función básica de manera satisfactoria; sin embargo, presenta ciertas limitaciones en términos de precisión temporal, verificación de dispensación y supervisión remota. Para superar estas limitaciones y aumentar la versatilidad del sistema, se plantean una serie de mejoras que podrían incorporarse en futuras versiones del prototipo.

Una de las propuestas iniciales es la incorporación de un módulo de reloj en tiempo real (RTC), que permite mantener la hora exacta incluso tras interrupciones en el suministro eléctrico. Este componente garantiza que la dispensación ocurra siempre a la misma hora, evitando desviaciones acumuladas en tratamientos que requieren estricta regularidad horaria, lo cual es especialmente importante en el ámbito veterinario.

Asimismo, se contempla la integración de una cámara con conectividad WiFi, capaz de transmitir imágenes o vídeo en tiempo real. Esta funcionalidad permitiría la supervisión remota del dispositivo por parte del propietario o cuidador del animal, aportando un refuerzo adicional en términos de seguridad, control y seguimiento del tratamiento.

Otra mejora significativa consiste en la implementación de un sensor de peso situado bajo la zona de dispensación, cuyo objetivo es confirmar la retirada efectiva del alimento o medicamento. Esta verificación automatizada aporta un nivel extra de control, ya que permite detectar posibles fallos en la toma de la dosis e incluso generar alertas si se identifica que el contenido permanece sin recoger.

Complementariamente, la adición de un sensor infrarrojo de proximidad permitiría detectar el paso o la presencia del animal frente al dispensador. Esta información puede ser utilizada para enriquecer el monitoreo del comportamiento, detectar patrones anómalos o complementar las funciones de verificación de dispensación.

Por último, se propone el desarrollo de una interfaz digital accesible desde dispositivos móviles o plataformas web. Esta interfaz permitiría configurar parámetros de funcionamiento, visualizar registros de actividad, recibir notificaciones en tiempo real y gestionar remotamente el sistema, aumentando significativamente la experiencia de usuario y el control sobre el tratamiento.

Estas mejoras, en conjunto, no solo optimizan las funcionalidades actuales del dispositivo, sino que lo consolidan como una herramienta avanzada, adaptable y orientada tanto al uso doméstico como profesional en el ámbito veterinario.



La siguiente tabla recoge los componentes propuestos, su función principal y el beneficio que aportan:

Tabla 2. Componentes Propuestos.

Componente	Función Principal	Beneficio Esperado
Módulo RTC	Mantener la hora exacta en todo momento	Precisión temporal, dispensación fiable
Cámara WiFi	Transmisión de vídeo en tiempo real	Monitorización remota, seguridad y control
Sensor de peso	Confirmación de retirada del medicamento	Verificación automática de dispensación
Sensor infrarrojo	Detección de presencia o paso del animal	Alertas en caso de no recogida o anomalías
Interfaz móvil/web	Configuración remota, notificaciones y reportes	Control fácil, mejor experiencia de usuario

La implementación de estas mejoras convertirá al dispensador en un sistema inteligente, fiable y completamente adaptado a las necesidades actuales en el cuidado de animales que requieren tratamientos específicos. Con ello, se potencia su utilidad no solo en entornos domésticos, sino también en aplicaciones profesionales donde la precisión, el monitoreo y la autonomía resultan fundamentales.



6. Proceso de fabricación.

El proceso de fabricación del dispensador rotativo de dosis medicadas ha sido concebido con el objetivo de optimizar la funcionalidad, durabilidad y facilidad de montaje del dispositivo. Se ha puesto especial énfasis en las propiedades mecánicas de los materiales empleados, así como en las ventajas y limitaciones propias de la tecnología de fabricación seleccionada, buscando un equilibrio adecuado entre resistencia estructural, precisión dimensional y viabilidad económica.

La fabricación de las piezas se ha llevado a cabo mayoritariamente mediante impresión 3D por deposición de material fundido (FDM), una técnica aditiva que permite obtener geometrías complejas y altamente personalizadas sin necesidad de moldes, utillajes o procesos de mecanizado adicionales. Esta metodología no solo permite una considerable reducción de costes durante las etapas iniciales de desarrollo, sino que facilita la iteración rápida sobre el diseño, posibilitando ajustes y mejoras en función de los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del prototipo.

El diseño de cada componente ha sido adaptado específicamente para este tipo de fabricación, teniendo en cuenta factores clave como la orientación de impresión, la necesidad de estructuras de soporte, los refuerzos integrados en zonas críticas, y el grosor de las paredes para garantizar tanto la resistencia mecánica como la estabilidad dimensional del conjunto. Asimismo, se han definido parámetros técnicos de impresión, incluyendo alturas de capa, velocidades y temperaturas, orientados a maximizar la calidad superficial y la funcionalidad de las piezas finales.

En los apartados siguientes se detallan los materiales seleccionados para cada elemento del dispensador, junto con los tiempos de impresión, pesos de material y consideraciones técnicas adicionales, con el fin de documentar de forma exhaustiva el proceso de fabricación del sistema y su idoneidad para aplicaciones en entornos domésticos, clínicos o profesionales.

6.1 Materiales utilizados y composición.

Para la construcción del cuerpo principal del dispensador y sus componentes, se ha optado por materiales termoplásticos que ofrecen una combinación equilibrada entre resistencia mecánica, peso reducido y facilidad de fabricación mediante impresión 3D. El material principal empleado ha sido el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), seleccionado por su alta resistencia mecánica, buena estabilidad térmica y capacidad de absorción de impactos. Estas características hacen que el ABS sea especialmente adecuado para la fabricación de las piezas estructurales que soportan cargas y movimientos repetidos, como el cuerpo cilíndrico del mecanismo, la tapadera

principal, la tapa de la electrónica y las aspas rotativas. Además, el ABS presenta una excelente resistencia a agentes externos, lo que contribuye a la durabilidad del dispositivo en condiciones domésticas.

La impresión de estas piezas se ha realizado utilizando una impresora 3D Bambu P1S, que proporciona alta precisión y velocidad de fabricación. Durante el proceso se ha tenido especial cuidado en la orientación de las piezas para minimizar la necesidad de soportes y evitar deformaciones o fallos en la adhesión entre capas. Para asegurar la rigidez y estabilidad dimensional, se han incorporado refuerzos internos en las zonas críticas y se ha ajustado la densidad de relleno en función de la función estructural de cada componente (Bambu Lab, 2023).



Imagen 35: Impresora 3D Bambu P1s [15].

El tiempo total de impresión varió según la pieza: el cuerpo cilíndrico requirió aproximadamente un día, una hora y 38 minutos, utilizando 768 gramos de ABS; las aspas tuvieron un tiempo de fabricación cercano a las ocho horas y cincuenta minutos, con un peso de 263 gramos; la tapadera principal se imprimió en 6 horas y 31 minutos, con un consumo de 270 gramos; y finalmente, la tapa de electrónica se completó en 2 horas, con un peso de 63 gramos.



Estas consideraciones garantizan que el prototipo cuente con la robustez necesaria para su funcionamiento continuo, facilitando al mismo tiempo la reproducción del diseño y la posibilidad de futuras modificaciones o mejoras.

6.2 Técnica de fabricación: impresión 3D por deposición fundida (FDM).

Para la fabricación de las piezas que conforman el dispensador rotativo, se ha empleado la tecnología de impresión 3D por Modelado por Deposición Fundida (FDM). Este proceso consiste en la extrusión precisa y controlada de un filamento termoplástico, en este caso ABS, que es fundido y depositado capa a capa sobre la base de impresión, creando la geometría tridimensional requerida. La técnica FDM es especialmente adecuada para prototipado rápido y producción de piezas funcionales con un equilibrio óptimo entre coste, rapidez y precisión dimensional.

La elección del filamento ABS responde a sus excelentes propiedades mecánicas, como la alta resistencia a impactos, la buena estabilidad térmica y la durabilidad, características fundamentales para garantizar la robustez del dispensador, que debe soportar un uso continuado y condiciones ambientales variables, incluyendo humedad. Además, el ABS ofrece una superficie con buena adhesión entre capas y resistencia química moderada, aspectos relevantes para la vida útil del dispositivo.

Para la impresión se utilizó la impresora 3D Bambu P1S, que destaca por su velocidad de impresión, precisión y fiabilidad. Este equipo permite optimizar los tiempos de fabricación gracias a su capacidad para gestionar eficientemente el calentamiento del extrusor y la base, así como su sistema avanzado de control de movimiento. Estas características resultan clave para la producción de prototipos con alta calidad superficial y resistencia mecánica adecuada, sin necesidad de procesos extensivos de postprocesado.

Cada componente fue diseñado y orientado para su impresión de forma que se maximice la resistencia estructural y se minimicen los soportes, evitando deformaciones y facilitando un acabado superficial uniforme. El cuerpo cilíndrico, por ejemplo, se imprimió en orientación horizontal para aprovechar la resistencia inherente a las capas y reducir la probabilidad de fallos por delaminación. Las aspas rotativas y las tapas también fueron diseñadas con geometrías optimizadas para facilitar el flujo del material fundido y asegurar un correcto enfriamiento durante la fabricación.

A lo largo de este proceso se implementaron refuerzos en áreas críticas, tales como nervaduras internas y espesores incrementados en zonas de mayor esfuerzo, para asegurar la durabilidad sin comprometer la ligereza del conjunto. Además, se prestó especial atención a la calidad de la superficie de las tapas para facilitar la incorporación de juntas tóricas, garantizando la estanqueidad frente a polvo y humedad.

En las imágenes siguientes se muestran los modelos digitales generados en el software de control de la impresora Bambu Studio, evidenciando la distribución de las capas, tiempos estimados y consumos de material, que ofrecen una visión completa del proceso de fabricación y permiten anticipar posibles ajustes para futuras iteraciones del diseño.

Cuerpo cilíndrico

El cuerpo cilíndrico es la estructura principal que alberga el mecanismo y los compartimentos para las dosis de medicamento. Se imprimió en posición horizontal para maximizar la resistencia a esfuerzos de flexión y torsión, especialmente en la dirección longitudinal del cilindro. Esta orientación también reduce la necesidad de soportes en áreas internas y mejora la calidad superficial en la parte externa visible. El tiempo de impresión fue de 1 día, 1 hora y 38 minutos, con un consumo de material de 768 gramos. La pieza presenta refuerzos internos y paredes de grosor optimizado para asegurar durabilidad sin incrementar el peso innecesariamente.

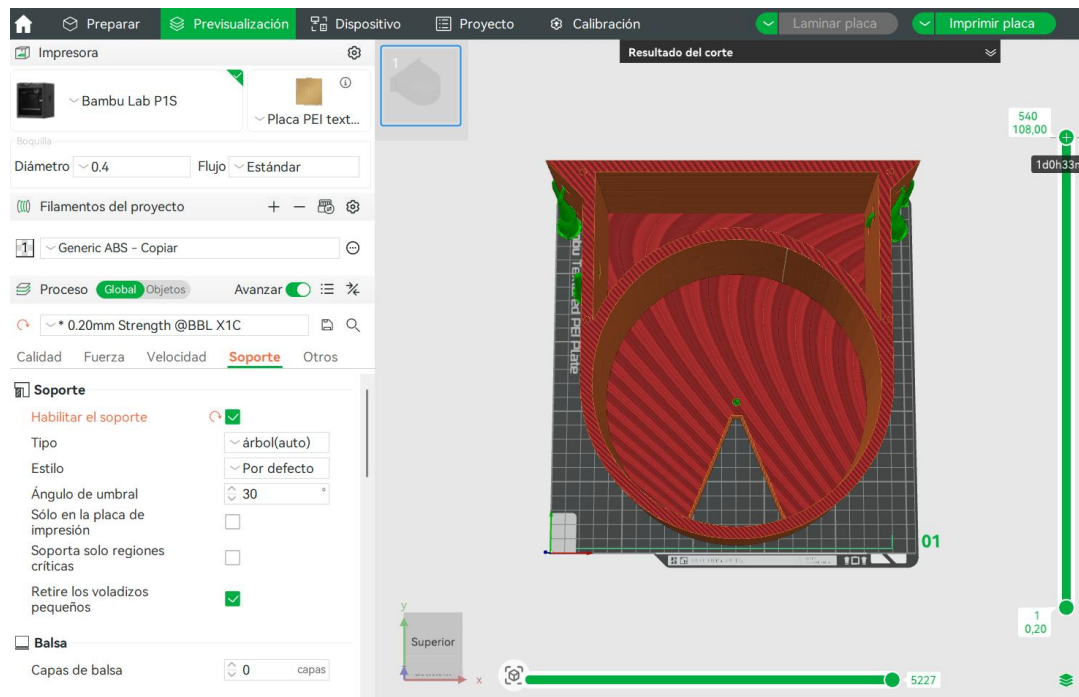


Imagen 36: Modelo 3D y configuración de impresión del cuerpo cilíndrico en Bambu Studio.

Aspas rotativas

Las aspas forman el mecanismo de división en compartimentos dentro del dispensador, permitiendo que el motor paso a paso rote el tambor en incrementos de 45°. Estas piezas se imprimieron con un diseño que combina rigidez y ligereza, utilizando relleno interno optimizado. La impresión de las aspas tomó aproximadamente 8 horas y 50 minutos, con un consumo de 263 gramos de ABS. Se consideraron aspectos como la orientación y el soporte para evitar deformaciones que pudieran afectar el correcto encaje y funcionamiento del mecanismo.

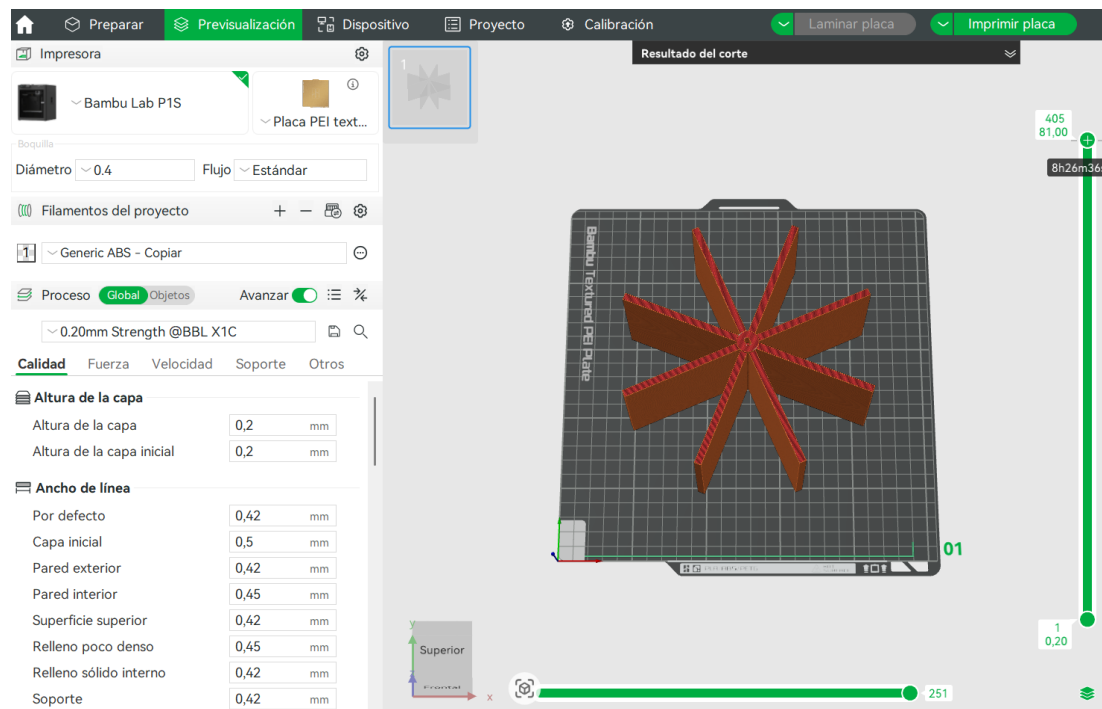


Imagen 37: Vista 3D de las aspas rotativas y su disposición para impresión.

Tapadera principal

La tapadera principal cierra el conjunto del cilindro y está diseñada para incluir una junta tórica que garantiza la estanqueidad frente a la humedad o contaminantes externos. Se imprimió con especial cuidado en el acabado superficial para facilitar el sellado y evitar filtraciones. La orientación de impresión y parámetros seleccionados favorecen un equilibrio entre resistencia mecánica y buen acabado estético. El tiempo de fabricación fue de 6 horas y 31 minutos, consumiendo 270 gramos de material.

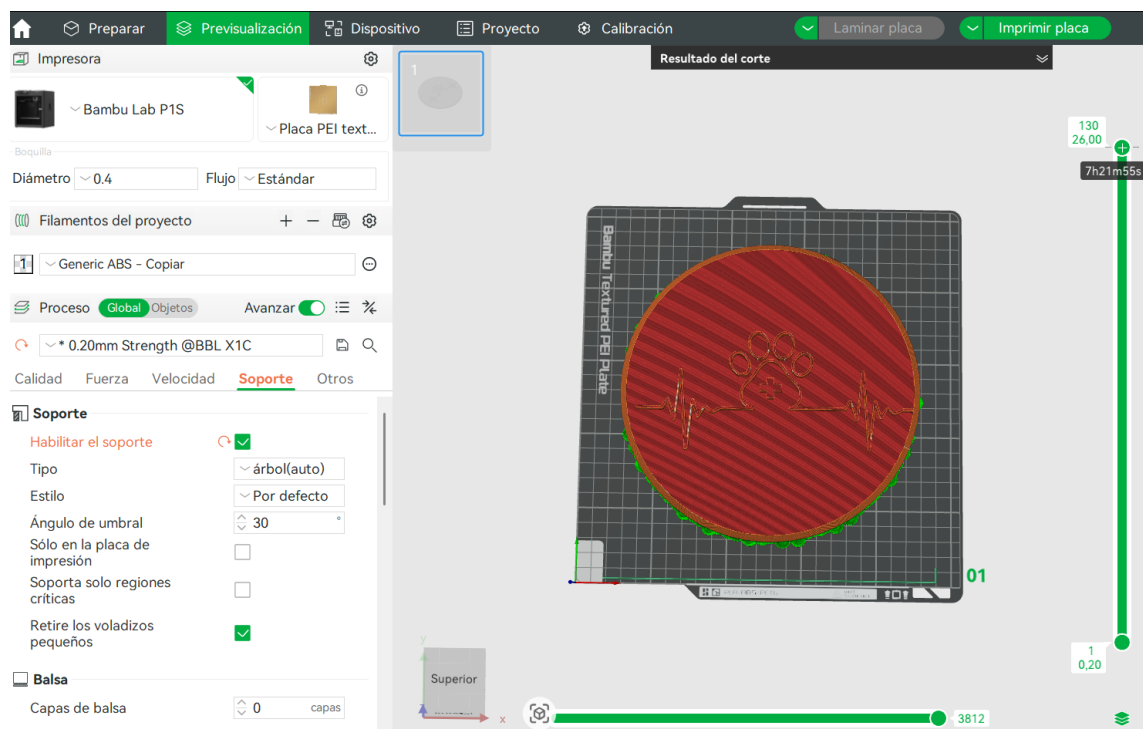


Imagen 38: Representación 3D y disposición de impresión de la tapadera principal.

Tapadera para electrónica

Esta tapadera protege el compartimento donde se alojan los componentes electrónicos del sistema. Se diseñó para permitir un acceso sencillo para mantenimiento o ajustes, y también para incluir sellados que eviten la entrada de polvo o líquidos. Su impresión requirió 2 horas, con un consumo de 63 gramos de ABS. La pieza se orientó para facilitar la integración con el cuerpo principal y asegurar una buena unión sin afectar la funcionalidad.

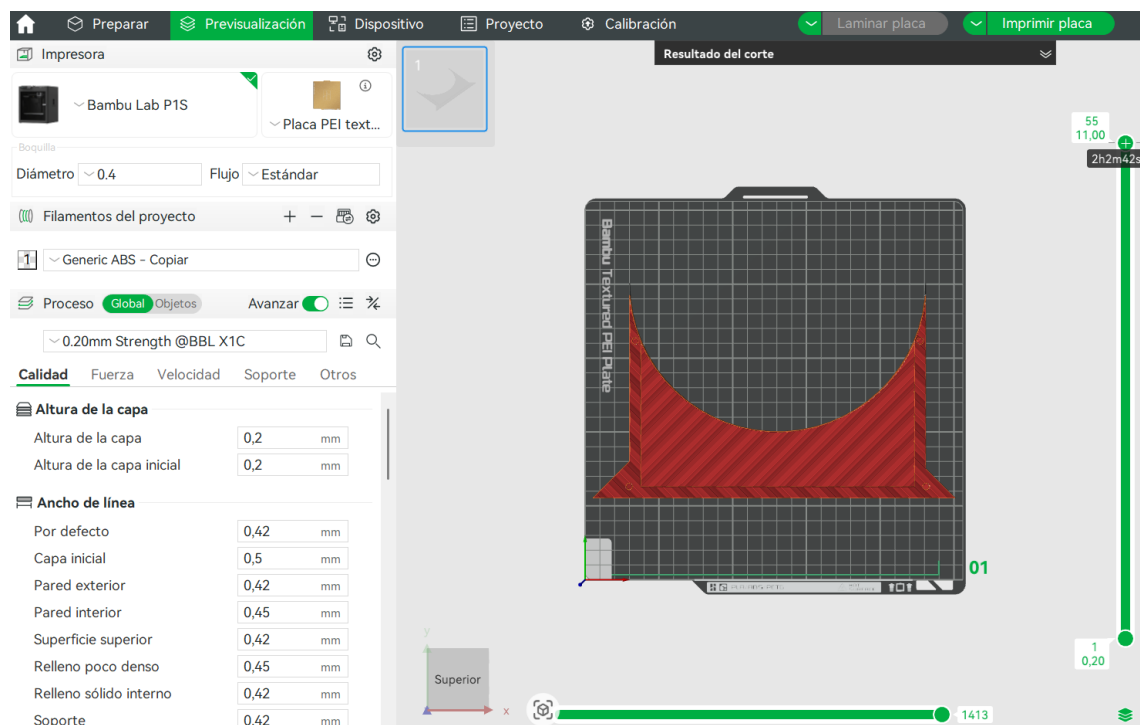


Imagen 39: Modelo 3D de la tapadera electrónica y parámetros de impresión.

Durante todo el proceso de impresión, se ajustaron parámetros como velocidad, temperatura y porcentaje de relleno para optimizar la calidad, resistencia y economía de material. Además, se utilizaron refuerzos específicos en zonas críticas para aumentar la durabilidad sin añadir peso innecesario.

Se han documentado también mediante capturas de pantalla en el software Bambu Studio la generación del código G, tiempos estimados y número de capas de impresión, que se incluirán como soporte visual para este apartado.

En conjunto, la impresión 3D por FDM ha sido una técnica fundamental para el desarrollo rápido, económico y efectivo del prototipo, facilitando iteraciones y mejoras en el diseño para alcanzar un producto final fiable y funcional.



6.3 Estructura y montaje.

El dispensador rotativo ha sido concebido bajo un diseño modular que facilita tanto el ensamblaje como el mantenimiento del dispositivo. Las piezas impresas en 3D están unidas mediante un sistema combinado de encajes precisos y tornillos de acero inoxidable, que garantizan una fijación firme y duradera sin comprometer la posibilidad de desmontaje para reparaciones o reemplazo de componentes.

En la parte trasera del cuerpo principal se ha incorporado un chaflán diseñado específicamente para alojar dos taladros. Estos permiten la fijación segura del dispensador a la pared mediante tornillos y tacos apropiados, aportando estabilidad estructural y minimizando cualquier desplazamiento o vibración durante la operación del motor y el mecanismo rotativo. Esta solución también facilita la instalación en diferentes ubicaciones domésticas o en entornos de refugio animal.

Desde el punto de vista mecánico, la estructura ha sido reforzada en las zonas sometidas a mayores esfuerzos dinámicos y estáticos. Para ello, se han incrementado el espesor de las paredes en puntos estratégicos y se han añadido nervios internos que distribuyen las cargas de manera eficiente, evitando concentraciones de tensión que podrían causar deformaciones o fallos prematuros. Estas optimizaciones aseguran una durabilidad adecuada del dispositivo sin incrementar de forma significativa el peso total, manteniendo así la funcionalidad y la facilidad de manejo.

El conjunto modular y robusto del dispensador, junto con las soluciones de fijación y refuerzo estructural, constituyen una base sólida que facilita tanto la fabricación como el uso seguro y confiable del sistema en el día a día.

6.4 Integración de componentes electrónicos.

El diseño del compartimento trasero del dispensador ha sido optimizado para albergar todos los componentes electrónicos necesarios en un espacio reducido, garantizando su accesibilidad, seguridad y protección frente a agentes externos. Este espacio, de forma semi-rectangular y fabricado en material termoplástico, incluye un sistema de sellado mediante junta tórica y está pensado para facilitar tanto el montaje como el mantenimiento de la electrónica. A continuación, se detalla el proceso de integración de cada componente.

6.4.1 Preparación del compartimento.

Previo a la instalación de los componentes, se realiza una inspección inicial del compartimento para asegurar la limpieza del mismo y la integridad de sus elementos estructurales. Es fundamental comprobar que no existan rebabas ni restos del



mecanizado que puedan interferir en el montaje o generar desgaste en los cables. También se revisa la correcta ubicación de las columnas de anclaje internas y la planitud de la base.

Además, en esta fase se pueden instalar los pasacables o prensaestopas si están integrados en el diseño, lo cual permitirá guiar de forma segura el cableado hacia el exterior, evitando rozaduras o deterioro con el tiempo.

6.4.2 Instalación de la placa Arduino Nano.

La placa Arduino Nano, elemento principal del sistema de control, se instala sobre dos columnas guía situadas en la parte central del compartimento. Estas columnas están dimensionadas para utilizar separadores plásticos de 3 mm, que permiten elevar la placa sobre el fondo, facilitando la ventilación inferior y evitando posibles cortocircuitos por contacto.

Una vez colocada, se fija mediante tornillos M2 x 6 mm de acero inoxidable. Es fundamental no ejercer un par de apriete excesivo para no dañar el PCB. Se presta especial atención a la orientación de la placa, de modo que los pines digitales utilizados para el control del motor (por ejemplo, D8, D9, D10, D11) queden alineados con el lado donde se colocará el driver ULN2003, reduciendo así la longitud del cableado.

6.4.3 Montaje del driver ULN2003.

El módulo ULN2003 se instala lateralmente respecto al Arduino, fijado sobre una base plana mediante cinta adhesiva térmica o mediante tornillos si el diseño incluye taladros compatibles. La cinta térmica adhesiva cumple una doble función: fija el componente y mejora la disipación de calor generado durante el funcionamiento del motor.

El conector de entrada del ULN2003 debe quedar orientado hacia la salida de señal del Arduino, mientras que el conector de salida se dispone en dirección al orificio por donde se conducen los cables hacia el motor paso a paso. Esta disposición ordenada optimiza el espacio y reduce la posibilidad de errores durante el cableado.



6.4.4 Integración de la fuente de alimentación.

La alimentación eléctrica puede gestionarse mediante una fuente externa o un módulo interno tipo buck converter (convertidor reductor). En ambos casos, se requiere una fijación segura al interior del compartimento:

- Si se emplea una fuente de alimentación externa (típicamente 9 V DC), se conecta a través de un conector jack o terminal de tornillo montado en la pared del compartimento, protegido por un prensaestopas.
- Si se emplea un buck converter, este se fija mediante adhesivo térmico o tornillos, y se ajusta su salida a 5 V mediante potenciómetro antes de su conexión al Arduino.

El cableado de alimentación se enruta de forma separada al de señal para minimizar posibles interferencias electromagnéticas.

6.4.5 Cableado y distribución interna.

Una vez instalados los módulos electrónicos, se procede al tendido del cableado eléctrico. Se utilizan cables Dupont de sección adecuada (aproximadamente 22 AWG) para la señal y cables de mayor sección (20 o 18 AWG) si se requiere alimentar elementos de mayor consumo como el motor.

Los cables se agrupan mediante bridas plásticas o se encajan en canales guía moldeados en el propio compartimento. Se mantiene una clara diferenciación entre cables de alimentación y señal para facilitar el diagnóstico en caso de fallos. Las conexiones críticas pueden ser etiquetadas para facilitar futuras reparaciones.

6.4.6 Incorporación de conectores accesibles.

Para garantizar la facilidad de uso y mantenimiento, se integran conectores estandarizados (JST, Dupont o Molex) fijados a la carcasa. Estos conectores permiten una desconexión rápida de los siguientes elementos:

- Entrada de alimentación.
- Motor paso a paso.
- Entradas adicionales de sensores (por ejemplo, para versiones futuras que integren sensores de posición o humedad).



Los orificios de paso de cableado están protegidos mediante pasacables de goma o piezas impresas que evitan el desgaste del aislamiento por vibraciones o movimientos.

6.4.7 Verificación eléctrica y prueba funcional.

Antes del sellado del compartimento, se efectúa una prueba funcional completa:

- Verificación de tensiones en los pines de entrada y salida con multímetro.
- Ensayo de funcionamiento del motor, cargando en el Arduino un programa de prueba que permita realizar varios giros del sistema.
- Comprobación del comportamiento térmico de los componentes durante un ciclo de funcionamiento prolongado.

En caso de detectar fallos, todos los elementos son accesibles para su sustitución antes del cierre definitivo.

6.4.8 Sellado con tapa y junta tórica.

Con todas las conexiones comprobadas, se procede al cierre del compartimento. La tapa trasera está dotada de una ranura continua en la que se inserta una junta tórica de elastómero (EPDM o NBR), cuya función es impedir el ingreso de humedad, polvo o pelos de animal al interior del sistema.

Se recomienda aplicar un lubricante de silicona a la junta para mejorar su estanqueidad y alargar su vida útil. Posteriormente, la tapa se ajusta con tornillos M3 ubicados en las esquinas del perímetro. El par de apriete debe ser uniforme para garantizar una presión homogénea sobre la junta, evitando fugas o deformaciones.

6.4.9 Fijación final al cuerpo del dispensador.

Una vez cerrado, el compartimento se atornilla al chaflán trasero del cuerpo cilíndrico del dispensador mediante dos tornillos pasantes, que además permiten el anclaje directo a la pared. Esta fijación estructural asegura la estabilidad del sistema durante el giro del motor, evitando desplazamientos o vibraciones no deseadas.



7. Conclusión.

Se ha logrado diseñar, desarrollar y validar con éxito un prototipo funcional de dispensador automático rotativo para la administración diaria de croquetas medicadas, orientado principalmente a perros que requieren tratamientos constantes y estrictos, como aquellos afectados por la leishmaniasis. Durante todo el proceso, se ha abordado de manera integral cada aspecto técnico, mecánico y electrónico necesario para crear una solución viable que facilite el cuidado responsable de las mascotas, aportando un valor tangible tanto a los propietarios como a los animales.

El diseño mecánico, basado en un cuerpo cilíndrico con aspas rotativas que conforman compartimentos internos, ha demostrado eficacia en la contención y dispensación precisa de dosis individuales de croquetas de hasta 2 cm de diámetro. La configuración geométrica con divisores a 45° ha permitido optimizar el mecanismo rotativo, garantizando una alineación exacta y evitando fallos como atascos o mezclas entre dosis. Asimismo, el diseño modular y ergonómico facilita las tareas de recarga y mantenimiento, asegurando la durabilidad y funcionalidad del dispositivo.

En cuanto a los materiales y el proceso de fabricación, la elección de la impresión 3D por deposición fundida (FDM) con filamento PLA responde a criterios de accesibilidad, coste y sostenibilidad. El PLA, siendo un material biodegradable y compatible con el contacto indirecto con alimentos, proporciona rigidez y resistencia mecánica adecuadas para soportar las sollicitaciones del dispensador, mientras que la planificación cuidadosa de los parámetros de impresión ha permitido obtener piezas de alta calidad y durabilidad.

La integración electrónica basada en Arduino Nano y el motor paso a paso 28BYJ-48, controlado mediante el driver ULN2003, ha posibilitado un sistema automatizado fiable, capaz de realizar giros de 45° diarios con alta precisión. La programación implementada, utilizando la función millis para la gestión temporal, simplifica la arquitectura al prescindir de módulos RTC externos, facilitando la simulación y validación en entornos virtuales como Tinkercad. La inclusión de señales acústicas y visuales anticipatorias mejora la interacción usuario-mascota y refuerza la confianza en el correcto funcionamiento del sistema.

La fase de simulación previa ha sido fundamental para verificar la correcta operación del circuito y el código, permitiendo detectar y corregir posibles errores antes de la fabricación física, lo que representa un ahorro significativo en tiempo y recursos, así como una mayor garantía de éxito en la implementación práctica.



Este dispensador responde a una necesidad real y creciente, dado que numerosas personas enfrentan dificultades para administrar la medicación diaria a sus mascotas por motivos laborales o personales. Al automatizar este proceso, el dispositivo contribuye a mejorar la adherencia al tratamiento, aporta tranquilidad y seguridad a los propietarios y, en consecuencia, mejora la calidad de vida tanto de los animales como de sus cuidadores.

El proyecto contempla posibles líneas de mejora tecnológica, como la incorporación de cámaras WiFi y sensores para el monitoreo remoto, que ampliarían significativamente la funcionalidad y la confianza en el sistema. Estas futuras incorporaciones permitirán avanzar hacia soluciones más inteligentes y conectadas, en consonancia con las tendencias actuales en domótica y cuidado avanzado de mascotas.

Este trabajo supone un aporte relevante en el ámbito de los dispositivos automatizados para la administración de medicamentos en animales domésticos, fusionando ingeniería mecánica, electrónica y fabricación aditiva con un enfoque pragmático y centrado en el bienestar animal. La implementación de este dispensador abre nuevas perspectivas para el desarrollo de herramientas tecnológicas que faciliten el cuidado responsable y riguroso de mascotas con enfermedades crónicas o tratamientos complejos.



8. Referencias.

- [1] Serpell, J. A. (2017). *The domestic dog: its evolution, behavior and interactions with people*. Cambridge University Press.
- [2] Petsplan, "Seguro para mascotas," *Petsplan*. Disponible: <https://www.petsplan.es>
- [3] Miró, G., & Cardoso, L. (2020). *Leishmaniosis canina: diagnóstico, tratamiento y prevención*. *Revista de Medicina Veterinaria*, 21(2), 101–113.
- [4] Polzin, D. J. (2013). Chronic Kidney Disease in Small Animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 43(6), 1111–1133. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2013.07.008>
- [5] Podell, M., Volk, H. A., Berendt, M., Löscher, W., Muñana, K., & Patterson, E. E. (2016). 2015 ACVIM Small Animal Consensus Statement on Seizure Management in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 30(2), 477–490. <https://doi.org/10.1111/jvim.13841>
- [6] Ettinger, S. J., Feldman, E. C., & Côté, E. (2017). *Textbook of Veterinary Internal Medicine: Diseases of the Dog and the Cat* (8th ed.). Elsevier.
- [7] Lee, S., & Yamazaki, K. (2019). Smart Pet Feeders and the Challenges of Automated Medication Administration. *Journal of Veterinary Medical Devices*, 15(1), 23–31.
- [8] Asociación Nacional de Veterinarios de Animales de Compañía (ANVAC). (2022). *Cuidado y tratamiento de enfermedades crónicas en mascotas*. *Revista Veterinaria Española*, 36(2), 45-59.
- [9] Dualvet. (2024). *Leishmaniosis canina: ciclo de vida y transmisión*. Recuperado de <https://dualvet.es/leishmaniosis>.
- [10] Clínica Veterinaria San Jorge. (2023). *Mapa de zonas endémicas de leishmaniosis en España*. Recuperado de <https://veterinarianosanjorge.com/leishmaniosis>.
- [11] Solano-Gallego, L., Miró, G., Koutinas, A., Cardoso, L., Pennisi, M. G., Ferrer, L., Bourdeau, P., Oliva, G., Baneth, G. (2011). LeishVet guidelines for the practical management of canine leishmaniosis. *Parasit Vectors*, 4, 86. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-4-86>
- [12] Day, M. J., Bilzer, T., Mansell, J., Wilcock, B., Carlton, W., & Pickup, R. W. (2016). *BSAVA Manual of Canine and Feline Clinical Pathology* (3rd ed.). British Small Animal Veterinary Association.



[13] Pérez, M., & Gómez, R. (2020). Avances en dispositivos automáticos para la dosificación de medicamentos en animales domésticos. *Revista de Tecnología Veterinaria*, 15(2), 45-58.

[14] AliExpress, “AliExpress – Online retail service.” <https://www.aliexpress.com>

[15] Bambu Lab. (2023). *Bambu Studio* [Software de impresión 3D]. Recuperado de <https://www.bambulab.com>



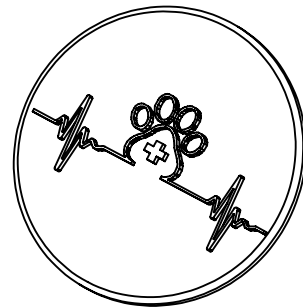
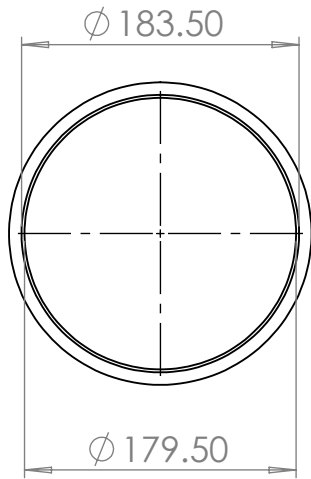
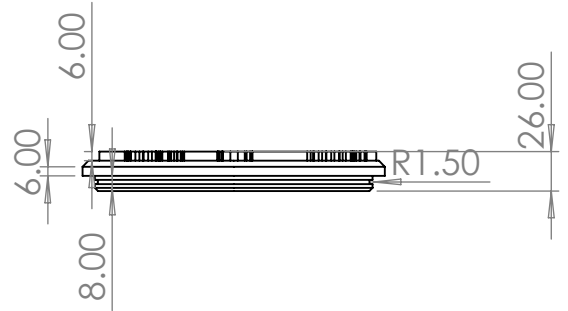
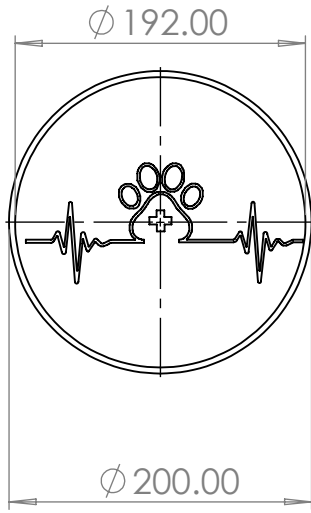
9. Planos y Esquemas.

Se incluirán a continuación los planos CAD detallados de cada componente mecánico, junto con el esquema eléctrico completo elaborado en la plataforma Tinkercad.

4 3 2 1

F
E
D
C
B

F
E
D
C
B

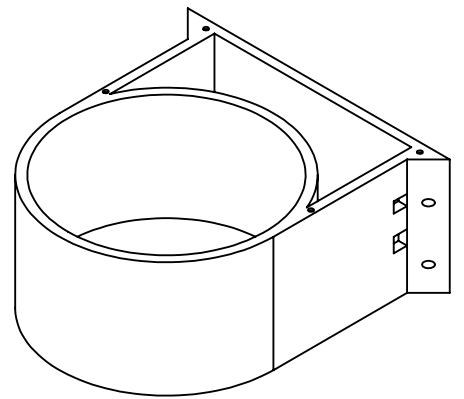
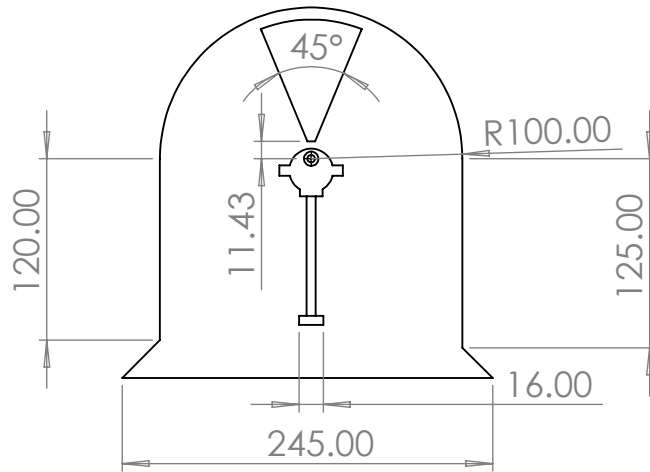
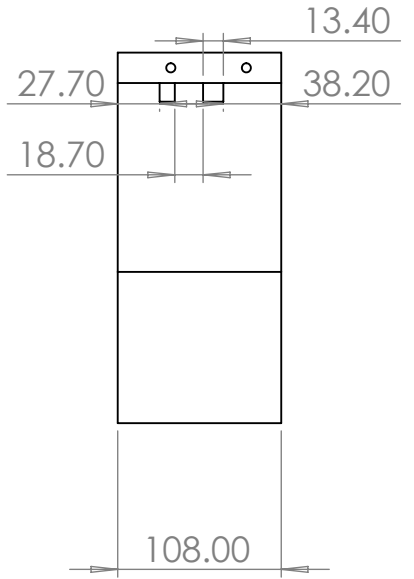
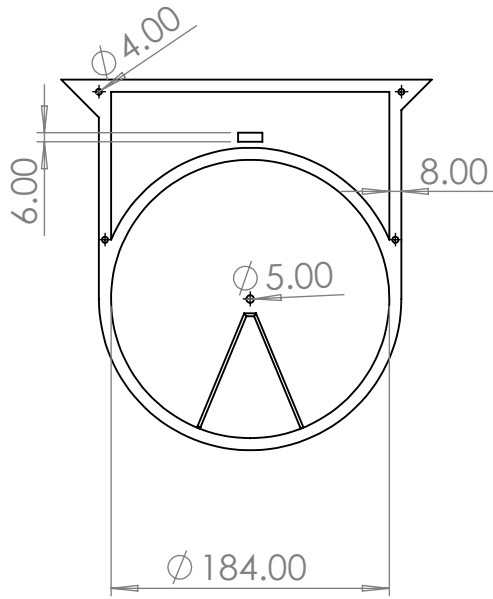
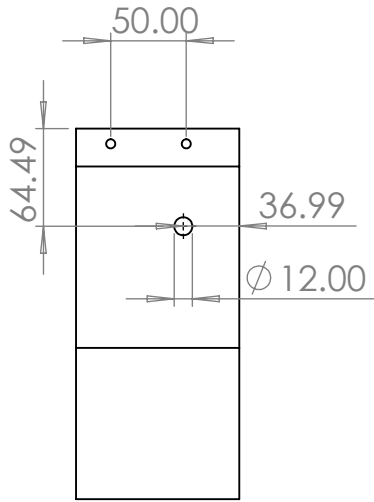


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE			FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO		A4
PESO:			ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1

Tapadera Cuerpo cilindro V

4 3 2 1

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				

TÍTULO:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

Cuerpo cilindrico v3

PESO:

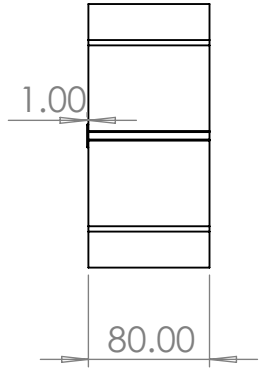
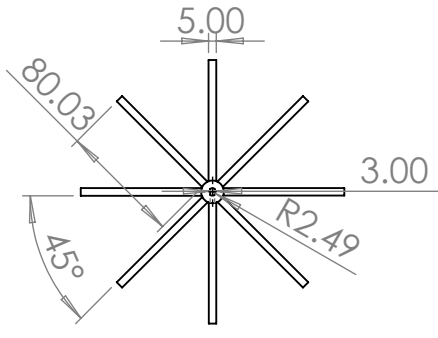
ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

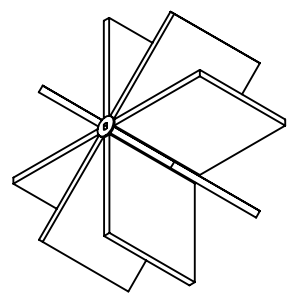
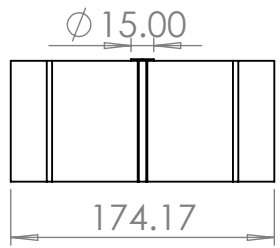
F

F



E

E



D

D

C

C

B

B

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				

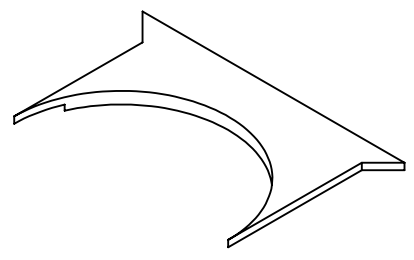
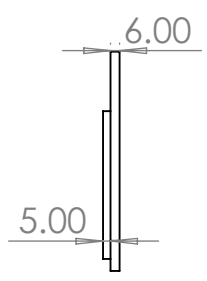
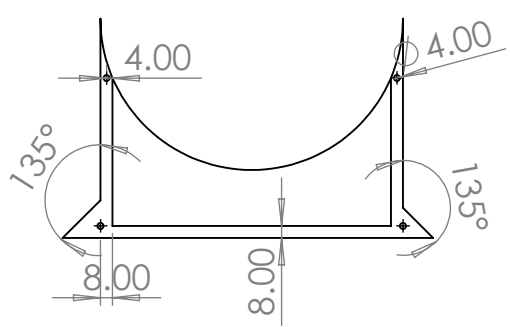
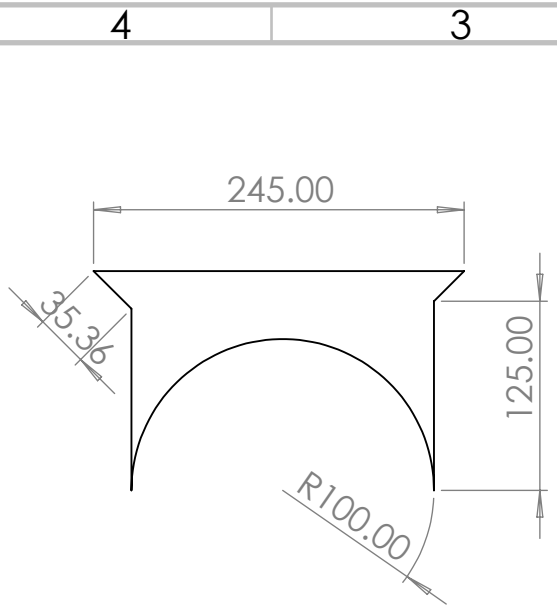
TÍTULO:	
N.º DE DIBUJO	Aspas v1
PESO:	ESCALA:1:5
	HOJA 1 DE 1

A

A

A4

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO	A4	
PESO:			ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1	

Tapadera electronica V1

